117 سلسلة محاضرات الإمارات

ما مدى قدرة إيران على تطوير المواد الخاصة بالأسلحة النووية وتقنياتها؟

جون لارج



مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

بسم الله الرحمن الرحيم

تأسس مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية في 14 آذار/ مارس 1994، كمؤسسة مستقلة تهتم بالبحوث والدراسات العلمية للقضايا السياسية والاقتصادية والاجتماعية، المتعلقة بدولة الإمارات العربية المتحدة ومنطقة الخليج العربي على وجه التحديد، والعالم العربي والقضايا الدولية المعاصرة عموماً.

من هذا المنطلق يقوم المركز بإصدار «**سلسلة محاضرات الإمارات**» التي تتناول المحاضرات، والندوات، وورش العمل المتخصصة التي يعقدها المركز ضمن سلسلة الفعاليات العلمية التي ينظمها على مدار العام، ويدعو إليها كبار الباحثين والأكاديميين والخبراء؛ بهدف الاستفادة من خبراتهم، والاطلاع على تحليلاتهم الموضوعية المتضمنة دراسة قضايا الساعة ومعالجتها. وتهدف هذه السلسلة إلى تعميم الفائدة، وإثراء الحوار البنَّاء والبحث الجاد، والارتقاء بالقارئ المهتم أينما كان.

سلسلة محاضرات الإمارات

- 117 -

ما مدى قدرة إيران على تطوير المواد الخاصة بالأسلحة النووية وتقنياتها؟

جون لارج



تصدر عن

مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

محتوى المحاضرة لا يعبِّر بالضرورة عن وجهة نظر المركز

ألقيت هذه المحاضرة يوم الأربعاء الموافق 13 كانون الأول/ ديسمبر 2006

الطبعة الأولى 2008

ISSN 1682-122X
ISBN 978-9948-00-962-7

توجه جميع المراسلات إلى رئيسة التحرير على العنوان التالي:

سلسلة محاضرات الإمارات ـ مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

ص. ب: 4567
أبوظبي ـ دولة الإمارات العربية المتحدة

هاتف: +9712-4044541
فاكس: +9712-4044542

E-mail: pubdis@ecssr.ae
Website: http://www.ecssr.ae

الجزء الأول: تصنيع السلاح النووي

تعدّ صناعة الرأس الحربي النووي عملية تجميعية تتصف بالدقة والتعقيد، وتعتمد على مواد عالية الجودة والنقاوة. وتتطلب هذه الشروط التقنية والمادية وجود بنية تحتية مجتمعية وصناعية قادرة على الجمع بين العديد من المعارف العلمية والهندسية، ووسائل الإنتاج المتقدمة، والتعاون مع دول أخرى أو موافقتها على الأقل.

لكن تقنيات تصميم الأسلحة النووية وإنتاج المواد الانشطارية لم تكن مصونة أو مضمونة جيداً في السنوات الأربعين أو الخمسين الأخيرة، وبخاصة من قبل الدول القادرة على إنتاج الأسلحة النووية.[1] وقد أضحت المعارف الفكرية المطلوبة لتصميم رأس نووي وتجميعه قديمة، وتعود اليوم إلى نحو 60 سنة مضت، ولم تعد القدرة النظرية على إنتاج الرؤوس الحربية النووية مقتصرة على دولة دون أخرى. بالإضافة إلى ذلك فإن هذه التقنية التي كانت حصرية ذات يوم، أخذت تفلت من قبضة نظام الضمانات الذي يهدف إلى منع الانتشار النووي، وأصبحت هذه التقنية متاحة الآن للدول التي تطمح إلى امتلاك زمام السلاح النووي.

الرؤوس الحربية النووية وقوانين الفيزياء والميكانيكا

يمكن للرأس الحربي النووي أن يكون وسيلة انشطار ذرّي (القنبلة الانشطارية؛ أي القنبلة الذرية A-Bomb)، أو وسيلة اندماج هيدروجيني

(أي القنبلة الحرارية أو الهيدروجينية H-Bomb).[2] وتجري عملية التفجير النووي في الرأس الحربي الانشطاري؛ إما بالتفجير المشترك لقلب مادة انشطارية (النموذج المدفعي Gun type)، أو بالضغط المتّسق لقلب مادة انشطارية (**نموذج الانفجار الداخلي** Implosion type). وتتألف هذه المادة الانشطارية إما من يورانيوم عالي التخصيب (HEU)، أو من قلب من معدن البلوتونيوم. وحتى اللحظة التي يحدث فيها الانفجار، يُحتفظ بالقلب الانشطاري للرأس الحربي في ترتيب حيزي دون حرج Subcritical ككتلتين دون حرجتين منفصلتين "**النموذج المدفعي**"، أو كمجموعة أغلفة (تتكوّن عادة من كرة جوفاء أو حفرة انشطارية: "**نموذج الانفجار الداخلي**").

وللبدء بعملية التفجير يتم إطلاق شحنات متفجرة تقليدية لكنها شديدة القصم؛ وذلك إما لدفع الكتل دون الحرجة معاً، وإما للقيام بعملية الضغط المتّسق للحفرة الانشطارية، حتى تصل شدة الضغط إلى مستوى فوق حرج Supercritical تتولد عنده النيوترونات داخل القلب. وهذه النيوترونات تتفاعل فيما بينها مولدةً المزيد من النيوترونات التي تكون نتيجتها تفاعلاً متسلسلاً سريعاً جداً، وتتحرر الطاقة عند كل حلقة من حلقات السلسلة.

لضمان حدوث هذه العملية بشكل متتابع، وسريع جداً، وناجح، لابد من تطبيق عدد من الحيل الهندسية والمادية والفيزيائية. وفي نمط الرأس الحربي الداخلي الانفجار، تُرتّب الشحنات المتفجرة في سلسلة من العدسات

المتراكبة ذات الأسطح الدقيقة والمصفوفة حول القلب الانشطاري، ويتم إطلاق هذه العدسات كل واحدة على حدة، فتتولد جبهة اندماجية مفاجئة موجهة نحو الداخل تقوم بدفع القلب أو ضغطه. أما القلب الانشطاري نفسه فموضوع داخل أغلفة من سبيكة مكونة من الزركونيوم والبريليوم واليورانيوم المستنفد (DU). وتقوم هذه السبيكة بالمحافظة على أبعاد الحفرة الانشطارية، واحتواء تدفق flux النيوترونات المحلّق وعكس اتجاهه، وكبح العملية النووية لبرهة مبدئياً. ولحظة حدوث سلسلة التفجير يقوم بادئ initiator داخل المجموعة بتوفير كمية كبيرة من النيوترونات التي تعزّز العملية النووية.

يستند الرأس الحربي الاندماجي (القنبلة الهيدروجينية) في تصميمه وتصنيعه إلى وسيلة انشطارية. ونجد بشكل أساسي أن المرحلة الابتدائية الداخلية (القنبلة الذرية) أشبه ما تكون بمرحلة ثانوية من وقود اندماج يتكون من الديتريوم والتريتيوم والليثيوم، وهو مغلف بطبقة من اليورانيوم المستنفد. وتحدث العملية النووية حين يتم تفجير العدسات التقليدية الشديدة التفجير، فتبدأ عملية الانضغاط التي تُحدث بدورها انشطار المرحلة الذرية الابتدائية. وتقوم الذرّات الشاطرة بتبخير الغلاف الداخلي للرأس الحربي، فيتشكل غاز شديد السخونة والكثافة (البلازما) يضغط مغزلاً من البلوتونيوم أولاً، فيدفعه لانشطار يؤدي بدوره إلى إطلاق شرارة الاندماج في المرحلة الثانوية عبر تحويل الليثيوم إلى تريتيوم، ويندمج التريتيوم مع الديتريوم فتنتج كميات كبيرة من النيوترونات التي تشعل طبقة اليورانيوم

وتشعّعه، ما يؤدي إلى احتجاز وقود الاندماج المتمدد بين طبقتين من اليورانيوم المتفجر في عملية "انشطار-اندماج-انشطار" تتحرر منها طاقة اندماجية/ انشطارية هائلة.

ولا تستغرق هذه العملية النووية الحرارية "الانشطار-الاندماج-الانشطار" برمتها في هاتين المرحلتين، وفي المراحل المتكررة للبطانة إذا أُدمجت في الرأس الحربي، إلا بضع مئات من النانوثانية nanosecond.

الرؤوس النووية الحربية: المواد الأولية

وهكذا نجد أن "حزمة الفيزياء النووية"، أو مكوناتها، الخاصة بأي رأس حربي انشطاري، أو انشطاري-اندماجي، تتألف من عملية بسيطة نسبياً لكنها تجميع عالي التكامل لمكونات فائقة الدقة. وبعض هذه المكونات مشِعّ بطبيعته (القلب الانشطاري والدثارات)، وبعضها الآخر موجود في صيغة مركّزة (التريتيوم). وتوجد ضمن حزمة الفيزياء النووية أيضاً مواد شديدة الحتّ (الليثيوم)، وشديدة السمية (البريليوم)، وأخرى غير مستقرة كيميائياً (العدسات الشديدة التفجير)، أو ذات سمّية إشعاعية دائمة (البلوتونيوم).[4،3]

ويُجمع الكل على أنه لابد لأي بلد يقوم بتطوير رأس حربي نووي من الحصول أولاً على ترسانة صغيرة من القنابل الانشطارية، المعروفة بالقنابل الذرية، قبل أن تتاح له إمكانية اكتساب الكفاءة والمعارف التقنية الكافية لتطوير ترسانة نووية حرارية، أو ما يعرف بالقنبلة الهيدروجينية. ومعنى ذلك أنه يجب ألا تُستبعد أبداً فكرة إمكانية أن يتحوّل أي بلد يستخدم التريتيوم

لتعزيز عملية الانـدماج في رأس حـربي انـشطاري إلى بلـد قـادر عـلى إنتـاج الرؤوس الحربية النووية خلال بضع سنوات.

ولتـصنيع رأس حـربي انـشطاري واحـد يمكـن اسـتخدام 15-30 كيلوجراماً من اليورانيوم الانشطاري العالي التخصيب. ويتطلب هذا الأمـر وجود محطة للتخصيب مهمتها زيادة المحتوى المنخفض من نظير اليورانيـوم القابل للانشطار في ذرة اليورانيوم الطبيعي-235 من 0.7٪ إلى مستوى عـال جـداً مـن التركيـز يزيـد عـلى 90٪. وتـتم عمليـة التخـصيب بإزاحـة نظـير اليورانيوم-238 غير القابل للانـشطار في العـادة. وتحتـاج هـذه العمليـة إلى كميات كبيرة من اليورانيوم الطبيعي على شكل يورانيوم مطحون تمت تنقيتـه إلى كعكة صفراء تُحوَّل بدورها إلى الحالة الغازية لسادس فلوريـد اليورانيـوم (UF_6). أما الناتج الثانوي مـن هـذه العمليـة، اليورانيـوم المستنفد (DU أو اليورانيوم-238)، فبالإمكان استخدامه كجزء من القلب القابـل للانـشطار في رأس حربي نووي انشطاري (قنبلة ذرية) لاحتـواء العمليـة النوويـة أولاً، وللمساهمة بُعيدها في تحرير طاقة انشطارية.

ولزيادة الطاقة المتولدة من القنبلة الذرية، وبالتالي تعزيز إمكانية الاعتماد عليها، يمكـن اسـتبدال القلـب الانـشطاري لليورانيـوم المخـصَّب ببـضعة كيلوجرامـات (نحـو 5 كيلوجرامـات) مـن البلوتونيـوم الـشديد القـوة الانشطارية. ويَنتج البلوتونيوم من إعادة معالجة الوقـود المستهلَك الحـاوي على اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المنخفض التخصيب الذي تـم تـشعيعه في مفاعـل نـووي. وتتـضمن عمليـةُ إعـادة المعالجـة أو الفـصل الكيميـائي لليورانيوم-238 الموجود في الوقـود المستهلك إذابـةَ الوقـود المـستهلَك ذي

الإشعاعية العالية في محلول يُستَخلص منه مقدار ضئيل جداً من البلوتونيوم. ولتوليد البلوتونيوم وفصله، لابد من وجود محطة لتصنيع الوقود؛ أي مفاعل (حراري) مهدّأ moderated بشكل قوي، ومحطة لإعادة معالجة الوقود المستهلك أو فصل مكوّناته كيميائياً.

ولتطوير تصميم القنبلة الذرية، يتم تعزيز عملية الانشطار الأولية للبلوتونيوم بإدخال دفق غزير من النيوترونات إلى داخل القلب الانشطاري للرأس الحربي، وذلك إما بوساطة منبع من البولونيوم المشعّ والبريليوم بحجم حبة البازلاء، وإما بتوليد النيوترونات بإضافة بضعة جرامات من التريتيوم المشع إلى الديتريوم. وتتطلب هذه التقنيات مفاعلاً نووياً لتوليد المواد المشعة، ومصانع كيميائية تقليدية لفصل إما الديتريوم وإما البريليوم، وللحصول على الليثيوم كمصدر للتريتيوم.

الوقود النووي ومواد الأسلحة النووية: القدرة المزدوجة

كما شرحنا آنفاً، يمكن تصنيع المكونات الانشطارية الأساسية لرأس حربي نووي إما من اليورانيوم-235 العالي التخصيب، وإما من كمية أقل من البلوتونيوم الغني بنظير البلوتونيوم-239. ولابد في كلا التصميمين: البلوتونيوم واليورانيوم، من وجود بضعة كيلوجرامات من اليورانيوم المستنفد لكبح المراحل الأولى من التفجير واحتوائها؛ وبضعة جرامات من التريتيوم-الديتريوم أو البولونيوم لبدء التسلسل النووي؛ وبعض البريليوم التقليدي على شكل خزف ملبّد sintered ceramic؛ ومواد شديدة الانفجار.

وإذا كان الرأس الحربي سيتضمن مرحلة اندماجية، فلا غنى حينئذ عن وقود من ديتريد الليثيوم lithium-deuteride، وعن بضعة كيلوجرامات أخرى من البلوتونيوم أو اليورانيوم المخصب، ونحو 20 كيلوجراماً إضافياً من اليورانيوم المستنفد لغلاف الاندماج–الانشطار. وللحصول على هذه المواد على نطاق صناعي لابد من توافر المواد والعمليات الآتية:

1. **اليورانيوم المخصَّب Enriched Uranium**: من أجل حصيلة معتدلة تتراوح بين 10 و20 كيلوطناً (kt) من تفجير نووي وقوده اليورانيوم، يجب أن يكون معدن اليورانيوم المخصب (الداخل في تركيب الكتلة الانشطارية لقلب الرأس الحربي) حاوياً على نسبة تزيد على 90٪ من اليورانيوم–235. وينطبق ذلك على الحفرة الانشطارية للرأس الحربي ذي التهيئة الخاصة بالنوع المدفعي، ويجب أن يكون بالإمكان أيضاً تصنيع رأس حربي مدفعي يتكوّن قلبه الانشطاري من اليورانيوم–235 المخصب بنسبة تتراوح بين 70 و80٪، وسيتم فيه فقدان فاعلية تفجير لا بأس بها؛ أو للحصول بعبارة أخرى على كمية تتراوح بين 0.5 و2.5 كيلوطن.

هناك العديد من وسائل تخصيب اليورانيوم الطبيعي إلى سويات أعلى من نسبة الـ 0.7٪ الموجودة في اليورانيوم–235 الطبيعي.[5] أما الوسيلتان الأساسيتان المستخدمتان لإنتاج الوقود المدني فهما: الانتشار الغازي التعاقبي، وتقنية المحطات العاملة بقوة الطرد المركزي الآخذة بالازدياد. ولابد أولاً من طحن الخام الذي يحتوي على اليورانيوم، ثم إخضاعه لعمليات المعالجة والفصل من أجل الحصول على الكعكة الصفراء

(U_3O_8) التي يتم تحويلها إلى غاز سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) بعد أن يمر بمرحلة وسطى هي رابع فلوريد اليورانيوم (UF_4).

استخراج اليورانيوم الخام	الاستخلاص/ الطحن	رابع فلوريد اليورانيوم (UF_4)	سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6)	التخصيب

والقاعدة العامة هي أن كفاءة عملية تخصيب اليورانيوم تنخفض في كلتا الحالتين؛ أي أن صعوبة التخصيب تتزايد كلما ارتفعت النسبة المطلوبة من التخصيب وقلّ محتوى اليورانيوم-235 في خام التغذية feedstock.[6]

وثمة صعوبة أخرى تتمثل في أن زيادة سوية التخصيب تستلزم تخفيض عدد مراحل "الطرد المركزي" تفادياً للوصول إلى الحالة الحرجة criticality. وبشكل عام، تتطلب المعالجة بكامل مراحلها أن يكون عمل السلسلة التعاقبية التي تضم المئات أو يزيد من عمليات الطرد المركزي الإفرادية متواصلاً وليس متقطعاً أو على دفعات batching.

وبرغم صعوبة العمل في محطات التخصيب ومحطات تغذية سادس فلوريد اليورانيوم المصاحبة، من الممكن جداً تخصيب اليورانيوم للوصول إلى مستويات الرؤوس الحربية النووية في المحطات المصممة لإنتاج سويات منخفضة نسبياً من التخصيب الخاص بمحطات الطاقة المدنية ومفاعلات البحوث والتطوير (2-4٪ للأولى حتى 20٪ للثانية). وتتم بشكل أساسي زيادة نسبة التخصيب من خلال إنجاز العملية على

دفعات بوساطة الإطالة أو إعادة التدوير، أو كلتيهما معاً. لكن سلبية ذلك أن الدورة الطويلة أصلاً ستغدو مطوّلة أكثر بكثير.[7]

فعلى سبيل المثال، يمكن بكل سهولة تعديل محطة انتشار غازي مدنية تتألف من 5000 مرحلة وقادرة على إنتاج نحو 500 كيلوجرام من اليورانيوم المخصب بنسبة 20٪ سنوياً كوقود لمفاعل بحوث، لجعلها تنتج سنوياً نحو 25 كيلوجراماً من اليورانيوم المخصب بنسبة 90٪، وهذا يكفي لصنع قنبلة ذرية واحدة من اليورانيوم المخصب.

2. **اليورانيوم المستنفَد Depleted Uranium**: ينتج اليورانيوم المستنفد (DU) بكميات كبيرة جداً كناتج ثانوي من عملية التخصيب، والمطلوب هو تفاعل إرجاع يحوّل اليورانيوم من سادس فلوريد اليورانيوم إلى أكسيد اليورانيوم، وأخيراً إنهاء هذه العملية في مصنع تعدين بتحويل اليورانيوم إلى أكثف أشكاله المعدنية الأولية elemental.

3. **البلوتونيوم Plutonium**: مرة أخرى، لإنتاج رأس حربي ذرّي حصيلته حوالي 20 كيلوطناً لابد من وجود قلب انشطاري، أو حفرة، يحتوي ما بين 3 و5 كيلوجرامات من البلوتونيوم (Pu). وإذا كان هذا الرأس من نوع الانفجار الداخلي فسيكون القلب مكوناً من كرة بلوتونيوم جوفاء يصل قطرها الخارجي إلى نحو 80 ملم.[8] ويتم إنتاج البلوتونيوم في مفاعل نووي بجعل اليورانيوم–238 يأسر نيوتروناً. أما التسلسل النووي فيتطلب أولاً انشطار اليورانيوم–235 في وقود المفاعل فينطلق نيوترون يأسره اليورانيوم–238، ثم يتم التحوّل عبر سلسلة من

الانحلال القصير الأمد إلى البلوتونيوم-239 المستقر نسبياً والذي يبلغ عمره النصفي نحو 24300 عام.[9] والأمر المثالي بالنسبة لرأس حربي نووي هو أن يكون البلوتونيوم المستعمَل حاوياً نسبة عالية من البلوتونيوم-239.[10] وهكذا، لابد من الحيلولة دون حصول المرحلة التالية من انشطار البلوتونيوم-239، وذلك إما بإزالة الوقود المولّد للبلوتونيوم من المفاعل بعملية استحراق burn-up منخفضة جداً، وإما بمنع حصول هذا الانشطار حين يكون الوقود الحاوي البلوتونيوم باقياً في القلب النشط للمفاعل، أو بكلتا الطريقتين معاً.[11]

يمكن القيام بعملية سحب انتقائي للوقود باستخدام مفاعلات قادرة على التزود بالوقود أثناء التشغيل on-load، كما هي الحال في مفاعلات ماجنوكس Magnox التي تستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية في المملكة المتحدة، والتي أسهمت بقوة في برنامجها لإنتاج البلوتونيوم في الماضي. ومن الممكن أيضاً زيادة إنتاج البلوتونيوم-239 بوساطة المفاعلات المهدَّأة بالماء الثقيل بعد ضبط إعدادات القلب فيها، لإعادة التزود بالوقود أثناء التشغيل مثلاً. وبالإمكان تحقيق الهدف الثاني من الحد من عملية انشطار البلوتونيوم بشكل محدود عبر التحكم بنافذة امتصاص النيترون التي يصبح البلوتونيوم-239 عندها أكثر عرضة للانشطار، مع أن هذا الأمر لا يعدّ في الواقع اقتراحاً عملياً في محطات توليد الطاقة الكهربائية الضخمة التي تستخدم مفاعلاتها في توليد البلوتونيوم أيضاً.

ويشكل عام، يعدّ كلا النمطين: المفاعلات المهدأة بالجرافيت المبرّدة بالغاز graphite moderated gas-cooled، والمفاعلات المهدأة بالماء

الثقيل التي يعاد تزويدها بالوقود في أثناء التشغيل، ذا قدرة مزدوجة dual-capable؛ أي إن تلك المفاعلات مصممة، أو يمكن تعديلها، لتوليد breeding البلوتونيوم بالإضافة إلى توليد الطاقة. ومفاعلات البحوث والطاقة المدنية هي التي تبرز بقوة على قائمة المفاعلات في الدول التي لديها برامج أسلحة نووية.

4. استخلاص البلوتونيوم **Plutonium recovery**: خلافاً لليورانيوم المخصب الذي لا يحتاج إلا إلى التحويل إلى شكله المعدني الأولي ليتم استعماله في رأس حربي نووي، يجب استخلاص البلوتونيوم من الوقود المستهلك في المفاعل بطريقة الفصل الكيميائي أو إعادة المعالجة. وبإيجاز، تستقبل محطة إعادة المعالجة[12] الوقود المشعَّع ذا الإشعاعية العالية المسحوب من المفاعلات النووية، وتقوم بتكسير هذا الوقود ميكانيكياً، وتذويبه في حمض النيتريك nitric acid، ثم تبدأ بفصل المكونات الثلاثة الداخلة في تركيبه: اليورانيوم المستنفد، والبلوتونيوم، ونفايات الانشطار ذات الإشعاعية العالية، وذلك بتمرير المزيج بين مراحل مائية ومذيبة على دفعات. ومن بين المنتجات الثلاثة، ترسل نفايات الانشطار للتخزين تمهيداً للتخلص منها نهائياً؛ ويرسل اليورانيوم المستنفد للتخزين، مع احتمال إعادة استخدامه كمزيج وقودي للمفاعلات أو في صناعة القذائف؛ أما البلوتونيوم فيسترد كمسحوق أكسيدي. ولا يمكن لعمليات الفصل الكيميائي التمييز بين نظائر البلوتونيوم المختلفة، لذلك نجد أن البلوتونيوم المستخلص من إعادة المعالجة يتكون من "بصمة البلوتونيوم النظائرية" plutonium

isotopic signature المتولدة في قلب المفاعل، التـي يـشار إليهـا باسـم "البلوتونيوم الصالح للاستعمال في المفاعلات" reactor-grade.

ولتشكيل القلب أو الحفرة الانشطارية لرأس نووي، تتم تنقية المحتـوى النظيري للبلوتونيوم الصالح للاستعمال في المفاعلات بطريقـة الكيميـاء الإشعاعية لإزالة النظائر ذات الإشعاعية العالية (التي يمكـن أن تجعـل من تصنيع مكونات الرأس النووي ومعالجتها عملية صعبة من الناحيـة الإشعاعية)، بالإضافة إلى إزالة النظائر التي تمتص النيوترونات أو التـي تنشطر مبكراً في سلسلة التفجير النووي. وينتج من المرحلة الأولى التالية لإعادة المعالجة ثاني أكسيد البلوتونيـوم (PuO_2) **الـصالح للاسـتعمال في الأسلحة النووية** weapons-grade الذي يغلب فيه نظـير البلوتونيـوم-239.[13] ويتم إرجاع أكسيد البلوتونيوم إلى شكله المعدني الأولي الـشديد الكثافة، فتنتج أزرار صغيرة (كبسولات) يتم صبها حينئذ في قوالب من سبيكة البلوتونيوم ومعدن نزر trace metal، كالغاليوم مـثلاً، لتـسهيل عملية التصنيع الآلي التالية.[14]

وتمرّ عمليات توليد مكونات البلوتونيـوم واستخلاصـها وإنهائهـا مـن أجل حفرة رأس نووي انشطارية بالمراحل الآتية:

يورانيوم-238	مفاعل مهدأ	فصل كيميائي	ثاني أكسيد البلوتونيوم (PuO_2)	معدن أولي

الطريق إلى تطوير الأسلحة النووية

تكـون مـواد اليورانيـوم والبلوتونيـوم الانـشطارية في الـرأس الحـربي النووي الذري عالية التخصيب ونقية جداً. ولتحقيق التفجير النووي تجـري

عملية الانشطار بسرعة كبيرة. ومقارنةً بالتطبيقات المدنية، في القلوب الوقودية لمحطات الطاقة النووية ومفاعلات البحوث تحديداً، نجد أن "شدة" الانشطار تطول، وأن مستوى تخصيب اليورانيوم يكون متواضعاً نسبياً، برغم أن نسبة النقاء المكرر لليورانيوم والبلوتونيوم تكون عالية جداً في الوقود النووي المدني.

وتتشابه عمليات الحصول على هذه المواد وتنقيتها وتخصيبها كثيراً بين الاحتياجات العسكرية والمدنية. وما يميز الاستخدامات المدنية عن العسكرية سوية تخصيب نظير اليورانيوم-235 الانشطاري ودرجة نقاء البلوتونيوم. وهذا يعني أساساً أنه بالإمكان استخدام المحطات الصناعية نفسها لفصل هذه المواد ومعالجتها، ويبقى الفارق بين الدرجات العسكرية والمدنية هو مدى المعالجة ومعايير التحكم المطبقة.

وكلما زادت الطاقة الإنتاجية للمحطة، كان من السهل إخفاء سلسلة المواد الصالحة للاستعمالات العسكرية التي يمكن حرفها عن الخط الإنتاجي المرسوم لها في الكشوف الرسمية. وثمة حيلة ممكنة أخرى يمكن أن تتبعها المحطة تتمثل في إنتاج كميات إضافية من المواد ذات الدرجة المدنية فقط، على أن تجري زيادة تخصيب هذا المخزون الاحتياطي إلى درجة عسكرية فيما بعد.

جرت العادة في الماضي أن يختار البلد إما الفصل بين برامج أسلحته النووية ونشاطاته النووية المدنية، وإما الجمع بينهما. فعلى سبيل المثال، مازالت الولايات المتحدة الأمريكية تفصل كلياً بين برامجها النووية العسكرية والمدنية، بينما اختارت المملكة المتحدة وفرنسا انتهاج مسار الاستخدام المزدوج الذي حافظ على نشاطاتها النووية العسكرية في إطار برنامجيهما

الخاصين بالطاقة النووية المدنية، إلى أن تطلّبت منهما معاهدة عدم الانتشار النووي (NPT) عام 1968 الفصل بين هذين البرنامجين.[15] ومع ذلك، يجادل بعضهم بأن الفصل بين المحطات الخاضعة للضمانات safeguarded والمحطات غير الخاضعة للضمانات بقي غير شفاف تماماً في المملكة المتحدة لمدة زادت على السنوات العشر بعد تصديقها على معاهدة عدم الانتشار النووي.[16]

أما هدف إسرائيل من امتلاكها ترسانة الرؤوس الحربية النووية التي طورتها في ستينيات القرن العشرين (وهو الأمر الذي لا تنكره إسرائيل ولا تؤكده، برغم التصريح الأخير لرئيس الوزراء الإسرائيلي إيهود أولمرت، الذي عدّ إسرائيل فيه بين الدول التي لديها أسلحة نووية) فقد كان مخصصاً برمته للأغراض العسكرية دون أن يتضمن أي طاقة مدنية.

والأمر نفسه ينطبق الآن على كوريا الشمالية التي أصبحت دولة ذات أسلحة نووية بعد أحدث تجاربها التي أجرتها في تشرين الأول/ أكتوبر 2006، ضمن برنامجها التطويري الذي ركز كلياً على الجانب العسكري. لكن خلافاً للبرنامج الإسرائيلي، واجه برنامج كوريا الشمالية النووي في معظم مراحله عقوبات شديدة وأشكال حظر تجاري كان الهدف منها عرقلة -إن لم نقل إيقاف- شراء المواد الانشطارية اللازمة وما يتعلق بها كلياً.

وفي الحقيقة، تحايلت كوريا الشمالية طوال فترة برنامجها التطويري على فاعلية العقوبات الدولية، نظراً لوجود سوق سوداء هائلة تتاجر سراً بالمواد النووية، وكان جزء كبير من هذه السوق يديره ببراعة عبد القدير خان، الرئيس السابق لمعامل البحوث الباكستانية. وهذه التجارة، التي يقوم بها

سماسرة وشركات تُستخدم كغطاء، ازدهرت باستغلال تقنيات شراء غير مشروعة وشهادات مستعملين نهائيين غير حقيقيين؛ بالإضافة إلى نقل مواصفات تفصيلية ومخططات أولية من بلد لتصنّع في بلد آخر، وترسل إلى بلد ثالث قبل إيصالها إلى وجهتها النهائية.

ويبدو أن تورط خان كان حجر الرحى في جهود تطوير تخصيب اليورانيوم على أساس الطرد المركزي في إيران، وليبيا (التي تخلت عنها)، وبخاصة من خلال التزوّد بالرسوم الهندسية التفصيلية، والمواصفات التصميمية، والمكونات، والتجميعات الكاملة لنموذجَي الطرد المركزي الباكستانيين P-1 وP-2،[17] بما في ذلك مواصفات أحد الرؤوس النووية في المخزون الباكستاني.[18]

وعلى هذا نجد أن الدول التي تعتزم الدخول في عِداد الدول المالكة للسلاح النووي قد تتبنى إحدى استراتيجيتين أساسيتين:

- الاستراتيجية الأولى: استراتيجية "المضي قدُماً وحدها"، وهي التي اتبعتها كوريا الشمالية؛ أي الحصول على التقنيات والمعلومات اللازمة، ثم تجميع أجزائها المتناثرة في بنية تحتية صناعية وعلمية. لكن هذه الاستراتيجية ذات المسار السريع تنطوي على خطر اكتشافها مبكراً، وانتهاك معاهدة عدم الانتشار النووي (إذا كانت من الدول الموقعة عليها)، ما يستتبع عقوبات فورية قبل ضمان الحصول على ترسانة نووية ضخمة وقائمة بذاتها من الرؤوس النووية. وهذه هي الحالة غير القابلة للتفاوض التي واجهتها كوريا الشمالية.

- الاستراتيجية الثانية: تخص تلك البلدان التي لديها صناعة نووية مدنية، أو التي تقوم بتطوير مثل هذه الصناعة المدنية. وبينما تتم مقايضة التقنية النووية المدنية المتقدمة مع الدول ذات القوة النووية الراسخة، تكافح الدول التي تعمل على تطوير القوة النووية لتحقيق الاستقلالية في دورة الوقود، وتقوم بإنشاء صناعات الوقود النووي المحلية الخاصة بها. وهذه المحطات، بما فيها منشآت تحويل اليورانيوم وتخصيبه، ومفاعلات البحوث والطاقة، ومحطات إعادة المعالجة، كلها قادرة على إنتاج المواد الانشطارية الصالحة للاستعمال العسكري واللازمة لإنتاج الرؤوس الحربية النووية. وهذا هو المقصود بعبارة القدرة المزدوجة.

يطلق على التوجه الثاني أحياناً اسم "الانتشار الذكي"، وهو برنامج يتم من خلاله تطوير المنشآت المزدوجة القدرة اللازمة لتحويل اليورانيوم وتخصيبه، أو منشآت توليد البلوتونيوم واستخلاصه، أو كلتيهما معاً، وذلك ضمن قيود الطاقة النووية المدنية التي تنص عليها معاهدة عدم الانتشار النووي، إلى أن يصبح مخزون المواد الانشطارية كافياً للتحول إلى استخدامها في أسلحة نووية. والنقطة الحاسمة هنا هي الفترة التي تسبق التملّص pre-breakout من المعاهدة، والتي يمكن فيها للدولة الراغبة في الانتشار استغلال مهلة التسعين يوماً المطلوبة للانسحاب من معاهدة عدم الانتشار النووي، ثم تقوم بتحويل مخزونها من المواد الانشطارية إلى رؤوس حربية دون انتهاك أي اتفاقية دولية.[19] أما الفترة الزمنية اللازمة لتحويل منشآت الإنتاج النووي من مدنية إلى عسكرية فهي قصيرة نسبياً؛ أي بضع سنوات أو أقل، حسب طاقة المحطة. ولذلك، يمكن لأي دولة لديها وسائل الإنتاج

والمعارف التقنية اللازمة أن تمثل تهديداً لعدم الانتشار النووي في يوم من الأيام.

يشكل الانتشار الذكي، وبخاصة حين يكون مقروناً بتبادل سري دولي للمعارف، والتقنيات، والمكونات، والمواد النووية، تحدياً لفاعلية الوكالة الدولية للطاقة الذرية في ضبط مثل هذه الأعمال السرية، وبخاصة ما يتعلق منها بموارد الاستخبارات والتحري وفق قيود معاهدة عدم الانتشار النووي. أضف إلى ذلك أنه، مع اتهام الوكالة الدولية للطاقة الذرية بتشجيع الاستخدامات السلمية للتقنية النووية وتسهيلها، يمكن أن تمثّل القدرة المزدوجة للبرامج النووية تهديداً فعلياً لإمكانية قيام الوكالة بمراقبة الطموحات العسكرية للدول التي تضع في ذهنها التملّص من المعاهدة يوماً ما، والإبلاغ عن تلك الدول.

الجزء الثاني: ملامح البرنامج النووي الإيراني

الدراسة المتأنية لتاريخ إيران وللتطورات التي لحقت مؤخراً بنشاطاتها النووية تجعلنا قادرين على معرفة أي من الاستراتيجيتين اللتين ذكرناهما تنتهج إيران في سعيها للحصول على السلاح النووي؛ هذا إذا كان لديها استراتيجية لذلك أصلاً.

فخلال خمسينيات القرن العشرين وستينياته، كان هناك قدر لا بأس به من التعاون بين إيران والولايات المتحدة الأمريكية، بما في ذلك تأسيس "مركز طهران للبحوث النووية" (TNRC) عام 1959، الذي كانت تشغّله "منظمة الطاقة الذرية الإيرانية" (AEOI). واستمر التعاون مع الولايات

المتحدة في ظل البرنامج الأمريكي "الذرّة من أجل السلام" US Atoms for Peace الذي بدأ عام 1967 مع تشغيل مفاعل بحوث أمريكي المصدر بطاقة 5 ميجاواطات حرارية (5MWt) من نوع حوض pool-type وقوده اليورانيوم العالي التخصيب. ومازال هذا المفاعل يعمل في مركز طهران للبحوث النووية، لكن قلبه الآن من اليورانيوم المتوسط التخصيب (نحو 20٪).

وقّعت إيران معاهدة عدم الانتشار النووي عام 1968، وصدقت عليها عام 1970، ومن ثم وافقت على نظام التفتيش وفق البروتوكول الإضافي لعام 2003 (لكنها لم تصدق عليه رسمياً حتى الآن). وقد بدأت إيران برنامجها للطاقة النووية فعلياً عام 1975 مع العقد الذي وقعته مع شركة كرافتفيرك يونيون Kraftwerk Union لبناء مفاعلين يعملان بالماء المضغوط (PWR) بطاقة 1200 ميجاواط كهربائي (MWe) في مدينة بوشهر على شاطئ الخليج العربي. وفي الوقت نفسه تقريباً، دخلت الولايات المتحدة الأمريكية في سلسلة اتفاقيات ومعاهدات تعاون مع إيران مكنتها من بيع التقنية النووية ونقلها إلى إيران، وقطعت العلاقة بينهما شوطاً بعيداً حتى وصلت إلى تقديم محطة إعادة معالجة كيميائية للوقود المشعّع من أجل الحصول على البلوتونيوم من دورة الوقود النووي.

لكن قيام الثورة الإسلامية عام 1979 أدى إلى توقّف مشروعات إيران النووية وتفكيكها جزئياً. كما تم التخلي عن المحطتين الكهرنوويتين اللتين كانتا قيد الإنشاء في بوشهر، واللتين كان من المقرر الانتهاء منهما وإعدادهما للتشغيل بين عامَي 1981 و1982. وانسحبت شركة كرافتفيرك في

تموز/ يوليو 1979 تاركة وراءها إحدى المحطتين منتهية بنسبة 50٪ والثانية بنسبة 80٪.[20] كما انهارت الاتفاقيات الأجنبية وبرامج التعاون الفني الأخرى في أعقاب الثورة، وكان من بين الناكثين فرنسا التي نقضت عقداً نصّ على تزويد إيران باليورانيوم المخصب،[21] وكذلك الولايات المتحدة الأمريكية التي تنصّلت من تعهّدها تزويد إيران قلوباً وقودية جديدة لمفاعل البحوث في مركز طهران للبحوث النووية.

وتخضع نشاطات إيران النووية من عام 1973 لعملية تنظيم مركزي تشرف عليها منظمة الطاقة الذرية الإيرانية. وقد خضعت هذه المنظمة منذ تأسيسها إلى مراجعات عديدة نالت مهمتها وهيكلها. وبعد الثورة عام 1979 أخذت إيران تترنّح على طريق يعتريه الشك حيال قدرتها على استرداد عافية تطوير برنامجها النووي الحديث العهد، برغم أن أواسط الثمانينيات شهدت ظهور نموذج مميز لهذا البرنامج.

هيكلية البرنامج النووي الإيراني وتنظيمه

قامت بتنظيم هذا النموذج منظمة الطاقة الذرية الإيرانية التي تقوم بتشغيل منشآت متعددة في أنحاء إيران، بما فيها مركز طهران للبحوث النووية، و"مركز أصفهان للتقنية النووية" (ENTC)، و"مركز البحوث النووية في الزراعة والطب" (NRCAM)، و"مركز بحوث المعادن والتعدين" (BHRC). أما المنشآت التشغيلية فتشمل تعدين اليورانيوم وإنتاج الكعكة الصفراء وسط إيران؛ وتحويل اليورانيوم وتصنيع الوقود في أصفهان؛ وتخصيب اليورانيوم في نتنز Natanz؛ ومنشآت تضم مفاعلات

بحوث تشغيلية في طهران؛ ومحطة ماء ثقيل بدئ بتشغيلها مؤخراً في أراك Arak تحضيراً لمفاعل الماء الثقيل الذي وقوده اليورانيوم الطبيعي وهو قيد الإنشاء في أراك. بالإضافة إلى ذلك إنجاز مفاعل بوشهر النووي وإعداده للتشغيل قريباً سيجعله أول محطة كهرنووية إيرانية تجارية؛ علماً بأن الجدول الزمني الحالي ينصّ على إعداد هذا المفاعل للتشغيل والإقلاع في أيلول/ سبتمبر 2007.

ويمكننا تلخيص مواقع المحطات وقدراتها المشمولة في برنامج إيران النووي كالآتي:[22]

1. **مركز طهران للبحوث النووية**: تتضمن منشآت هذا المركز الذي تم تأسيسه عام 1968 مفاعلاً للبحوث بطاقة 5 ميجاواطات حرارية،[23] ومنشأة لإنتاج النظائر المشعة؛ ومنشآت تجريبية لإنتاج كعكة اليورانيوم الصفراء وللفصل الكيميائي المعملي laboratory-scale للبلوتونيوم من الوقود المشعَّع، مع أن تلك المنشأة ربما تكون قد تم تفكيكها الآن؛ ومختبر ابن القاسم التقني الذي قد يكون تم استخدامه في تجارب التخصيب بالليزر على نطاق ضيق؛ ومنشأة لمعالجة النفايات المشعة. ويقع مركز طهران للبحوث النووية في ضاحية أميرأباد Amirabadj، على بعد 5 كيلومترات تقريباً شمالي وسط طهران.

2. **شركة كالا (أكا كَلاي) للكهرباء a.k.a. Kalaye Electric**: تقع في الضاحية الجنوبية لطهران، وهي المنشأة التي يُزعم أنها تقوم بأعمال التصنيع والاختبار في برنامج إيران للتخصيب بتقنية الطرد المركزي،

وهي المكان الذي اكتشفت الوكالة الدولية للطاقة الذرية فيه وجود يورانيوم عالي التخصيب من عينات جمعتها من البيئة المحيطة به عام 2003. ومن المحتمل أن تكون كافة تجارب التخصيب التي أجريت سابقاً في كلاي قد نُقلت الآن إلى منشأة تخصيب يورانيوم مبنية حسب الطلب وأكبر حجماً في نتنز، وهي منشأة تم الحصول عليها بإشراف شركة كلاي للكهرباء وإدارتها.

3. بوشهر: بعد أن كانت البدايات متعثرة، توشك إحدى المحطتين الكهرنوويتين اللتين بدأتهما كرافتفيرك يونيون على الانتهاء والإعداد للتشغيل الآن. وينص العقد الخاص بمحطة بوشهر[24] على قيام الاتحاد الروسي بتقديم مفاعل ماء مضغوط وإعداده للتشغيل بعد وضعه في مكانه من المباني التي قامت كرافتفيرك يونيون بإنهاء أغلبها قبل أن تتخلى عن عقدها الأصلي. كما يقضي العقد بقيام الاتحاد الروسي بتزويد إيران بوقود المفاعل، ثم إدارة الوقود المستهلك الناتج من الاستعمال في هذا المفاعل. وإذا سار موعد التشغيل حسب الجدول الزمني المقرر، فسوف تتلقى محطة بوشهر الكهرنووية وقود اليورانيوم غير المشعَّع الجديد من روسيا في آذار/ مارس 2007 تقريباً.* وستتضمن شحنة الوقود الجديدة منظومات وقود لمفاعل ماء مضغوط تزن 80 طناً من اليورانيوم المخصب بنسبة بين 2-3.5٪، وسيتم بعد ذلك تسليم موقع بوشهر وقوداً طازجاً يتراوح بين 25 و30 طناً من اليورانيوم في كل سنة من سنوات عمره التشغيلي المتوقع بين 30 و40 عاماً. وريثما يقلع مفاعل

* قامت روسيا بتزويد إيران بعدة أطنان من اليورانيوم أواخر عام 2007 وأوائل عام 2008. (المحرر)

بوشهر، سيقتصر خطره الإشعاعي على مخزونه من وقود اليورانيوم غير المشعَّع.

وبعد أن يبدأ المفاعل العمل، سيتزايد النشاط الإشعاعي للوقود في قلب المفاعل أكثر فأكثر وهو يُستحرق في دورة يبلغ متوسطها ثلاث سنوات. وإذا تم الالتزام ببدء التشغيل حسب البرنامج الموضوع، فسيصل مخزون الوقود (المشعّ) في المفاعل المشتغل حده الأقصى[25] مع نهاية السنة الثالثة أو الرابعة، ولنقُل خلال الفترة 2010–2011. وسيتم تخزين كميات مماثلة من الوقود "المستهلك" المشعَّع العالي الإشعاعية في حوض تخزين مملوء بالماء في المحطة الكهرنووية بانتظار إعادتها إلى الاتحاد الروسي. ونظراً لحساسية المسائل المتعلقة بعدم الانتشار، تصرّ دول الترويكا الأوربية (EU-3) على وجوب إعادة هذا الوقود المشعّع من محطة بوشهر إلى الاتحاد الروسي على دفعات بعد انقضاء نحو خمس سنوات من تبريد قلب المفاعل.

4. **المرحلة الأمامية لنشاطات وقود اليورانيوم:** في سعي إيران لتطوير صناعة وقود نووي محلية مستقلة، أسست لنفسها محطات ومنشآت لاستخلاص خام اليورانيوم وتحويله وتخصيبه في أنحاء البلاد، وقامت بربط بعضها ببعض لتحقق معاً الهدف النهائي وهو تخصيب اليورانيوم. فاليورانيوم يتم استخراجه من المناجم وطحنه ومعالجته ليصبح كعكة صفراء في غشين Gchine وسقند Saghand (وربما في أناراك Anarak)، ومن ثم يُحوَّل إلى سادس أكسيد اليورانيوم في أصفهان، على أن يتم التخصيب في نتنز.[26] ويبدو أن المصدر الرئيسي لاستخراج خام

اليورانيوم موجود في سقند التي كانت موضع تطوير منذ أوائل تسعينيات القرن الماضي، وكان مقرراً الانتهاء منها عام 2005،[27] لكن طحن اليورانيوم الذي يتم في أردكان Ardakan محدود حالياً. والهدف القريب المدى من دورة وقود اليورانيوم هذه هو تحقيق طاقات إنتاجية سنوية تصل إلى 11.3 طناً من ثاني أكسيد اليورانيوم الطبيعي (UO_2) و34 طناً من ثاني أكسيد اليورانيوم المخصب بنسبة تصل إلى 5٪، والذي سيتطلب نحو 280 طناً سنوياً من خام التغذية سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) مع كمية أولية من مادة الكعكة الصفراء تبلغ 300 طن سنوياً. ويشتمل مركز أصفهان للتقنية النووية على عدد من المنشآت النووية ذات الصلة، بما فيها مفاعلات صغيرة للبحوث، ومنشآت لإنتاج الزركونيوم، ومحطة لتصنيع الوقود، ونشاطات بحوث وتطوير أخرى يجريها المركز بالاشتراك مع جامعة أصفهان.

يتم حالياً تطوير النشاط الرئيسي لتخصيب اليورانيوم في نتنز، ومعظمه يجري تحت الأرض. ولم تعلم الوكالة الدولية للطاقة الذرية بالمدى الذي وصلته منشآت تخصيب اليورانيوم في نتنز إلا في شباط/ فبراير 2003، فأجرت عدداً من الحملات التفتيشية للموقع في أيلول/ سبتمبر من العام نفسه. وتتضمن المنشآت محطة تجريبية لتخصيب الوقود، ومنشأة تجارية للتخصيب سيتم تجهيزها بالكامل، وستتكون من مجمّع مسقوف تقارب مساحته 100 ألف م^2، وله القدرة على استيعاب بين 30 و50 ألف جهاز طرد مركزي[28] من التصميم P-2؛ برغم أنه لا يبدو حتى هذا التاريخ أن إيران نجحت في بناء وتشغيل خط P-2/P-1 مكوّن من 100-160 وحدة تعاقبية.[29] وإذا دخلت منشأة تخصيب نتنز حيّز

التشغيل التجاري، واعتماداً على طاقتها الإنتاجية ودرجة التخصيب التي تجرى فيها، فسوف يتزايد الطلب على خام سادس فلوريد اليورانيوم بشكل واضح، وربما بشكل يفوق طاقة منشآت التعدين والتحويل إلى كعكة صفراء، أي إلى درجة تضطر إيران معها إلى السعي لاستيراد خام اليورانيوم/ الكعكة الصفراء من الخارج.

5. **محطة إنتاج الماء الثقيل ومفاعل IR-40 في أراك:** أُعدت محطة لإنتاج الماء الثقيل (D_2O) للتشغيل في المنشأة المتخصصة الموجودة في خونداب Khondab بالقرب من أراك أواسط عام 2006. وتتراوح الطاقة الإنتاجية الأولية للمحطة بين 8 و10 أطنان سنوياً، وستتزايد إلى 15 طناً سنوياً، وهي الكمية التي ستحتاج إلى قدر مهم من الطاقة الكهربائية (10 ميجاواطات كهربائية تقريباً). ويسود الاعتقاد أن إنشاء مفاعل IR-40 المهدأ بالماء الثقيل (40 ميجاواطاً حرارياً)[31,30] قد بدأته في أراك "شركة مصباح للطاقة" Mesbah Energy Company عام 2004 تقريباً، ويُعتقد أن الانتهاء من إنجازه سيكون ما بين عامَي 2010 و2012 تقريباً.

سيكون هذا النوع من المفاعلات المهدأة مولداً فاعلاً جداً للبلوتونيوم. وإذا كان إنتاج البلوتونيوم من إحدى وظائفه المعتزمة، فما إن يعدّ المفاعل للعمل ويصبح قيد التشغيل حتى تغدو المصادر الإشعاعية في أراك مكونة من الآتي:

- قلب المفاعل ذي الوقود النووي الذي يصل معدل استحراقه الأقصى إلى نحو 5–7 جيجاواطات في اليوم/ طن يورانيوم

(GWd/tU) طوال فترة زمنية تتراوح بين 3 و4 سنوات من التشغيل.[32]

- خرطوشات توليد البلوتونيوم (إن كانت مركّبة في المفاعل) والتي ستتم إزالتها من قلب المفاعل على دفعات بعد نحو 3 أشهر من التعرض للإشعاع في أقسام الدثار من المفاعل. وسيتم تخزين الوقود المشعّع والخرطوشات في حوض المفاعل.

- منشأة فصل كيميائي (لإعادة معالجة البلوتونيوم)[33] تكون موجودة على الأغلب بالقرب من المبنى، وذلك في حال كانت إيران تعمل على تطوير رأس حربي قلبه من البلوتونيوم.

- كميات من ثاني أكسيد البلوتونيوم (PuO_2) مخزونة في أراك (أو ربما أصفهان).

6. إدارة النفايات المشعة: هناك منشأة نفايات مشعة مركزية موجودة في كراج Karadj قادرة على استقبال نفايات منخفضة ومتوسطة السوية الإشعاعية[34] وخزنها مؤقتاً. وتفيد التقارير بأنه من المتوقع أن تكون نسبة إنجازها قد وصلت عام 2003 إلى 50٪.[35] لكن لم يكن في إيران آنذاك قوانين فعلية تنظم إدارة النفايات، بما في ذلك قانون ينظم أعمال التصريف من المحطة الكهرنووية في بوشهر. وبرغم أنه تم عام 2003 وضع تصنيف لفرز النفايات، واستراتيجية وطنية للنفايات المشعة في سلم الأولوية وبصفة حاجة ملحّة، فإنه لابد من نشر هذه الاستراتيجية علناً.[36]

وحين تدخل محطة بوشهر الكهرنووية حيز التشغيل، ستكون أضخم مصدر مفرد للنفايات المشعة في إيران. ويُزعم أن يكون بالإمكان تخزين المواد المشعة الناتجة أو تصريفها في البيئة، أو كلا الأسلوبين معاً، ضمن الحدود المسموح بها، مع أنه ليس ثمة تحديد لهذه الحدود المسموح بها (أو أنها ليست متاحة علناً) حالياً.[37، 38، 39]

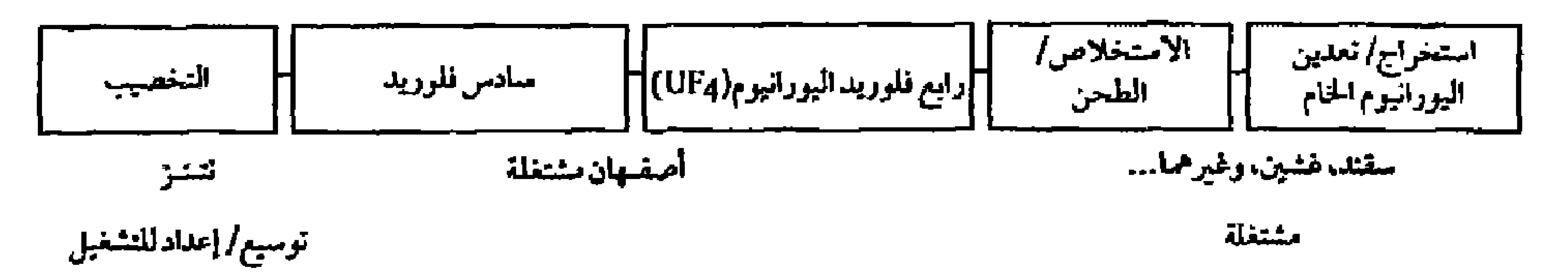
الصورة النووية المكتملة

لقد اكتملت كافة العناصر اللازمة لأي برنامج وقود يورانيوم إيراني من الحجم الذي يمكن أن يكتب له النجاح والحياة، وهي موجودة في مكانها في إيران، بدءاً بعمليات الاستخراج، وتحويل خام اليورانيوم إلى كعكة صفراء، وإنتاج سادس فلوريد اليورانيوم. وفي نتنز منشأة ضخمة جداً للقيام بعملية التخصيب الفعلية، وحين ينتهي إنجازها وتبدأ العمل، تعمل هذه المنشآت المتنوعة ذات القدرة المزدوجة مجتمعة لإنتاج مواد انشطارية مدنية وعسكرية على السواء.

تدّعي إيران أن هدفها من نشاطات تخصيب اليورانيوم التي تقوم بها هو تمكينها من إنتاج وقود نووي لمفاعلها المدني الوحيد المخصص لتوليد الطاقة الكهربائية (لم يتم إعداده للتشغيل بعد) في بوشهر. لكن احتياجات المحطة الكهرنووية الوحيدة المعتمدة على مفاعل الماء المضغوط، التي تشارف الآن على الانتهاء في بوشهر، لن تكون كافية وحدها مسوّغاً تجارياً يبرر هذا القدر الكبير من المشروعات الإيرانية في ميادين تخصيب اليورانيوم وتصنيع الوقود النووي. ومبعث قلق الوكالة الدولية للطاقة الذرية هو إمكانية قيام إيران بتحويل كمية كافية من اليورانيوم العالي التخصيب لتزوّد به الحفر

الانشطارية المخصصة لبناء ترسانة نووية متوسطة الحجم، وذلك بشكل مخفي ضمن قدرتها على إجراء عمليات المعالجة لوقود المرحلة الأمامية، وبخاصة في محطة تخصيب نتنز.

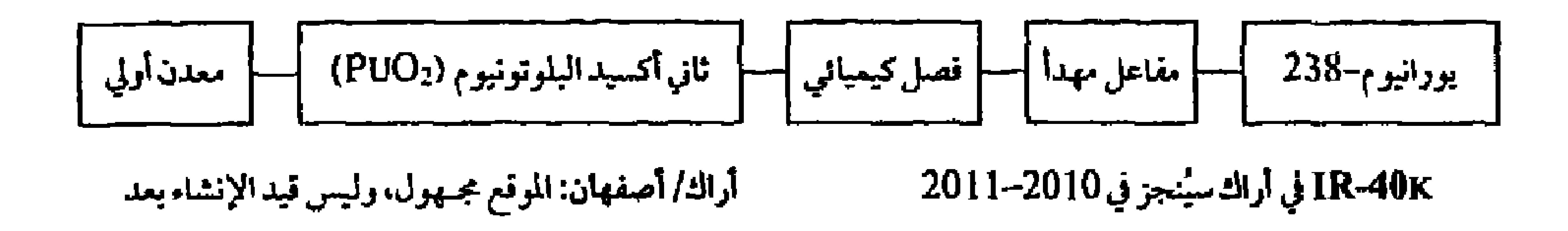
اليورانيوم المخصَّب



ويبدو أن هناك أيضاً برنامجاً ثانياً ومستقلاً تماماً لامتلاك مواد انشطارية يجري العمل عليه في أراك.[40] وسيتضمن هذا البرنامج مفاعل الماء الثقيل (IR-40) المهدَّأ عالياً الذي يتم إنشاؤه حالياً، والذي تدّعي إيران بأن الهدف منه دعم برنامجها النووي العام للبحوث والتطوير، بما في ذلك إنتاج النظائر المشعة، وهو المفاعل الذي سيحلّ محلّ مفاعل البحوث القديم والصغير جداً في مركز طهران للبحوث النووية.

وإذا تم تشعيع شحنات وقود اليورانيوم-238 الخصب في المفاعل، أو تشعيع أهداف استحراق قصير الأمد معدة خصيصاً لهذا الغرض، فسيؤدي فصلها كيميائياً إلى استخلاص البلوتونيوم العالي الانشطار الذي يمكن استخدامه في حفرة انشطار تدخل بتركيب رأس حربي نووي من النوع الانضغاطي compression-type.

البلوتونيوم



وبرغم أن مفاعل بوشهر للماء المضغوط لن يكون ملائماً بشكل عام لتوليد البلوتونيوم ذي الدرجة العالية الجودة اللازمة لرأس حربي يمكن الاعتماد عليه، يصر المجتمع الدولي مع ذلك على أن تقوم روسيا بتقديم كافة القلوب الوقودية المستقبلية الخاصة بمفاعل بوشهر وإدارتها، بما في ذلك الوقود المستهلَك أيضاً، كنوع من المتطلبات المتعلقة بالضمانات.

مدى التقدُّم في البرنامج النووي حتى هذا التاريخ

يمكننا تكوين فكرة معمقة عن مدى التطور الذي وصله البرنامج النووي الإيراني من نشاطات التفتيش وتقديم التقارير التي تجريها الوكالة الدولية للطاقة الذرية منذ تسعينيات القرن الماضي. وكمثال على ذلك زيارة مفتشي الوكالة الدولية للطاقة الذرية مناجم اليورانيوم في إيران عام 1992؛ ودور الوكالة في التأكد من وجود الضمانات في الاتفاقية الموقعة بين إيران والاتحاد الروسي لإكمال أحد مفاعلات كرافتفيرك الكهرنووية العاملة بالماء المضغوط المهجورة في بوشهر عام 1995؛[41] وإبلاغ الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام 1996 عن عدم ارتياحها من توقيع إيران على عقد مع جمهورية الصين الشعبية تقوم بموجبه بتزويد إيران بمحطة تحويل غازية (في أصفهان) لإنتاج خام تغذية سادس فلوريد اليورانيوم اللازم لتخصيب اليورانيوم.

وأثارت الوكالة الدولية للطاقة الذرية جدلاً دولياً مهماً عام 2003 حين أعلنت عن اكتشافها جزيئات من اليورانيوم مخصبة بنسبة 36٪ من أنواع لم تكن إيران قد أفصحت عنها سابقاً في سجل مخزونها الخاضع لشروط الضمانات.[42] وبين عامَي 1991 و2000، شغّلت إيران برنامج تخصيب بالليزر استعملت في سياقه 30 كيلوجراماً من معدن اليورانيوم لم تبلغ الوكالة الدولية بها من قبل. وبين عامي 1988 و1992، قامت إيران بتشعيع أهداف من ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) وصل وزنها إلى 7 كيلوجرامات، واستخلصت منها كميات ضئيلة من البلوتونيوم.

وبعد اكتشاف اليورانيوم العالي التخصيب في كَلاي عام 2003، تبنّت الوكالة الدولية للطاقة الذرية أسلوباً أكثر جهداً وتمحيصاً حول نشاطات إيران النووية. لكن بعضهم يرى أن الوكالة مازالت غير قادرة على إماطة اللثام عن دليل دامغ يكشف برنامج الأسلحة النووية لدى إيران. ومع ذلك، تعتقد الوكالة الدولية للطاقة الذرية أنها أثبتت -ولو متأخراً- أن برنامج التطوير النووي الإيراني تحكمه دوافع عسكرية. وهذا يتناقض تماماً مع ادّعاء إيران أنه حتى عام 2000 على الأقل، أو نحوه، كان هدفها من تطوير تخصيب اليورانيوم يقتصر كلياً على تحقيق استقلالها في دورة وقود الطاقة النووية المدنية.[43]

وفي تقرير الوكالة الدولية للطاقة الذرية الذي أصدرته في شباط/ فبراير 2006،[44] عدّدت بالتفصيل ما اعتبرته عدداً من حالات عدم امتثال إيران لمعاهدة عدم الانتشار النووي والبروتوكول الإضافي الملحق بها،[45] بالإشارة إلى:

- شراء إيران تقنية الطرد المركزي P-1 والأجهزة التي تعود إلى عام 1987.

- امتلاك إيران تقنية P-2 للطرد المركزي التي تلقت من أجلها عام 1995 تصاميم ومواصفات هندسية تخص مكونات هذا التصميم، وما تلا ذلك من أعمال التطوير التي أجرتها على هذه التقنية بين عامي 2002 و2003.

- بناء مفاعل بحوث الماء الثقيل (IR-40) في أراك الذي طُلب من إيران إعادة النظر فيه بموجب قرار الوكالة الدولية للطاقة الذرية[46] المشار إليه في تقريرها السابق.[47]

- حقيقة أن مصدر اليورانيوم المشعّ الذي استخدم في تجارب فصل البلوتونيوم يمكن أن يكون مأخوذاً من مصادر أخرى غير التي صرحت بها إيران.[48]

- التجارب التي أنتجت منها نظير البلوتونيوم المشع، وهي التجارب التي سبق للوكالة الدولية للطاقة الذرية أن أبلغت عنها.[49]

- امتلاك إيران وثيقة تتعلق بالمتطلبات الإجرائية الخاصة بتحويل سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) إلى معدن بكميات ضئيلة، وتتعلق بعملية صبّ معدن اليورانيوم المخصب والطبيعي والمستنفد وتصنيعه في أشكال نصف كروية.[50]

ومن جانب الوكالة الدولية للطاقة الذرية قدّمت دليلاً على أن إيران دخلت مجالاً يقع خارج ما يمكن أن تعدّه الوكالة ضرورياً لدعم برنامج طاقة

نووية مدنية، ضاربة أمثلة على ذلك بما تم العثور عليه، برغم ضآلة تلك الكميات، من البلوتونيوم واليورانيوم العالي التخصيب، وتطوير إيران تقنية طرد مركزي تعاقبي متعدّد، وقدرة إيران على توليد المواد البادئة للانشطار وفصلها، كالبولونيوم مثلاً. وتجادل إيران بأنه ليس لدى الوكالة دليل دامغ على امتلاكها برنامج أسلحة نووية. ولكن حتى لو كانت إيران محقة فيما تقول، يبدو أن ما يقلق الوكالة الدولية للطاقة الذرية هو مدى إصرار إيران على المضي قدماً في برنامجها النووي، وهذا ما حدا بالوكالة لتعلن عام 2006 ما توصلت إليه من استنتاج، وهو أنها «لم تستوعب تماماً غاية إيران من نشاطاتها النووية غير المعلنة التي تقوم بها على مدى السنوات العشرين كلها».[51]

إن النتيجة البديهية التي يمكننا استخلاصها من تأكيدات الوكالة الدولية للطاقة الذرية، حول قيام إيران بتخصيب اليورانيوم إلى مستويات عالية جداً، هي أن إيران ماضية قدُماً في طريقها نحو امتلاك ترسانة نووية تعتمد هندستها على قلب مفاعل من النوع المدفعي ويورانيوم عالي التخصيب. لكن السنوات الخمس الماضية تقريباً شهدت تنوّعاً في برنامج إيران النووي امتدّ ليشمل قدرتها على إنتاج ما يكفي من الماء الثقيل كمهدّئ لمفاعل البحوث والتطوير IR-40 الذي يجري إنشاؤه حالياً، والذي تصل طاقته إلى 40 ميجاواطاً حرارياً، ومن المقرر إعداده للتشغيل ما بين عامَي 2010 و2012.

وتدّعي إيران أن هدفها من هذا المفاعل المهدأ بالماء الثقيل هو الاستفادة منه في إنتاج نظائر مشعة تستخدم في المجالات الطبية والصناعية. لكن

المفاعل سيكون قادراً أيضاً على إنتاج كميات لا يستهان بها من البلوتونيوم الانشطاري الذي لو رغبت إيران لمكّنها من المضي بثقة على الطريق الذي يوصلها إلى امتلاك ترسانة من أسلحة نووية قلبها من البلوتونيوم، كما هي الحال مع كوريا الشمالية.

من الواضح أن تأخر إيران في التحوّل إلى استراتيجية الرأس الحربي النووي من البلوتونيوم، أو تبنيها استراتيجية كهذه، قد يكون نتيجة لصعوبات تواجهها في تشغيل ما يكفي من أجهزة الطرد المركزي التعاقبية في برنامج تخصيب اليورانيوم الموازي الآن في نتنز. وقد يتراءى للبعض أن بناء محطة الماء الثقيل ومفاعل IR-40 في أراك، بالإضافة إلى تطوير قدرات الفصل الكيميائي (إعادة المعالجة) لاستخلاص البلوتونيوم هو طريقة أضمن وأسرع من شراء وتجهيز آلاف وحدات الطرد المركزي اللازمة لتخصيب اليورانيوم إلى سوية عالية.

التملّص من معاهدة عدم الانتشار

لم يُثبِت أي من الأدلة التي قدمتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية حتى الآن أن إيران امتلكت القدرة على إنتاج أسلحة نووية. وبيت القصيد هنا أن القراءة المتأنية للواقع تجعلنا نستنتج أن مساعي إيران لتأسيس نفسها كدولة نووية في المنطقة جُوبهت حقاً بصعوبات تقنية ولوجستية وانتكاسات ليست بالقليلة.

وفيما يتعلق بكون إيران دولة نووية مدنية ناشئة، حري بنا القول إنها ستبقى معتمدة كلياً على الاتحاد الروسي لإكمال محطة مفاعل الماء المضغوط

الوحيدة المخصصة لتوليد الطاقة الكهربائية في بوشهر، ولإعدادها للتشغيل أيضاً. وبعد الانتهاء من هذه المحطة، ليس من المؤكد تماماً إن كانت إيران ستغدو قادرة على تشغيل هذه المحطة الكهرنووية بكفاءة دون مواصلة الاعتماد على روسيا، وبخاصة أن العقوبات الدولية ستوضع الآن موضع التطبيق بسبب الشكوك التي تدور حول نوايا إيران النووية العسكرية.

ولا ريب في أن المستويات الحالية من الصعوبات التقنية التي تواجهها إيران في نتنز، ومن بينها الإيقاع البطيء لتصنيع وحدات الطرد المركزي وتركيبها، ومدى إمكانية الاعتماد على أجهزة الطرد المركزي الفردية، وما إلى ذلك من مشكلات تتعلق بتشغيل هذه الأجهزة التعاقبية بالأحجام المطلوبة، تجعلنا نقول إنه من غير المحتمل أن يكون لدى إيران حالياً الموارد الكافية لتخصيب اليورانيوم بكميات تكفيها لبلوغ السوية المناسبة للاستعمال في مفاعل بوشهر للماء المضغوط، وبالتأكيد ليس إلى النسبة التي تزيد على 20٪ المطلوبة لإعادة شحن قلب مفاعل بحوث طهران الصغير بالوقود.

ويكاد الأمر ذاته ينطبق على التطوير المزعوم لبرنامج الأسلحة النووية الإيراني الذي يبدو أنه تُرك هائماً في متاهات تخصيب اليورانيوم بنسبة عالية، وبخاصة ما يتعلق بتطوير إنتاج أجهزة الطرد المركزي المتعدد P-2.[52] وبالمثل، هناك قدر كبير من الشك يحيط الآن بقدرة إيران على الانتهاء من إنجاز مفاعل IR-40 وإعداده للتشغيل، وبقدرتها على إقامة محطة لإعادة معالجة الوقود تساعدها في مواصلة العمل على إنتاج أحد أشكال رؤوس البلوتونيوم الحربية ذات النوع الانضغاطي بحلول عامي 2010 – 2011.

وإذا سلّمنا جدلاً بصواب رأي المؤيدين لفكرة أن إيران لديها الآن برنامج أسلحة نووية، فهذا بحدّ ذاته دليل على أن إيران فشلت في نيل مرادها وفق الجدول الزمني الذي وضعته لنفسها. وهذا يعني أنه من غير الواضح أبداً إن كان تملّص إيران الآن، وربما مستقبلاً، من معاهدة عدم الانتشار النووي يمكن أن يكون بسبب نشاطاتها النووية السرية الذي تثير الوكالة الدولية للطاقة الذرية الضجة حوله، أو نتيجة لتنصّل أحد شركائها الوهميين من تقديم المساعدات الفنية لها، أو نتيجة لزيادة شدة القيود المفروضة دولياً الآن على نقل المحطات والتقنيات النووية ذات القدرة المزدوجة إلى إيران.

وبغض النظر عن المبررات، إذا كانت نية إيران السعي لتطبيق استراتيجية انتشار ذكية قبل التملّص من قيود معاهدة عدم الانتشار النووي، فلا ريب في أنها فشلت في ذلك. لأنه الآن، ومع وضع العقوبات التي فرضها مجلس الأمن الدولي (في كانون الأول/ ديسمبر 2006) موضع التطبيق،[53] وعلى شرط ألا تكون إيران قادرة على الحصول على مساعدات فنية وتصنيعية خفية من شريك دولي ما، فستكون مشتريات إيران من مواد اليورانيوم العالي التخصيب والبلوتونيوم الانشطارية الصالحة للأسلحة خاضعة لتدقيق دولي شديد، ناهيك عن العقوبات التي ستعترض سبيلها.

وإذا استطاع برنامج إيران لتخصيب اليورانيوم بدرجة عالية تحقيق التقدّم حسب الجدول الزمني، فمن المحتمل أن يكون التملّص خلال عامي 2007 - 2008. لكن إذا أثبتت عقوبات الأمم المتحدة فاعليتها فلن تتمكن إيران من تخصيب اليورانيوم إلى درجة عالية؛ ومن المتوقع بالتالي أن تحوّل إيران تركيزها إلى صنفها الانتشاري الثاني المستند إلى البلوتونيوم. وعلى هذا

الأساس، وبفرض أن إيران تمكنت وحدها من المضي قدُماً في التغلب على الصعوبات الفنية الجمّة، واستطاعت زيادة وتيرة تجاربها المعملية السابقة في فصل البلوتونيوم، فربما يكون تاريخ التملّص المقبل بين عامي 2011 و2012.

الجزء الثالث: الاستنتاجات

تقول إيران إنها لن تتنازل عن حقها في تطوير منشآتها الخاصة بتخصيب اليورانيوم وتشغيلها في التطبيقات المدنية للطاقة النووية. كما تدّعي أن عمليات تخصيب اليورانيوم التي تقوم بها على نطاق صناعي حالياً في أصفهان ونتنز ما هي إلا لتحقيق رغبتها في تصنيع يورانيوم متوسط التخصيب (يورانيوم-235 بنسبة تخصيب 2-5٪) وأن هذه المنشآت لا تعمل على التخصيب إلى سويات الرؤوس الحربية النووية (يورانيوم-235 بنسبة تخصيب تزيد على 90٪). وتدّعي إيران أيضاً أن محطة الماء الثقيل التي أعدتها للتشغيل مؤخراً، ومفاعل IR-40 الذي يجري بناؤه حالياً في أراك، سيوضعان لصالح أعمالها الخاصة بالبحوث والتطوير النووية المستقبلية التي ستقوم بالعمل أيضاً على إنتاج النظائر المشعة لتحل محل القدرة المحدودة لمفاعل طهران المتقادم.

أما الوكالة الدولية للطاقة الذرية فتقول عكس ذلك، وتقيم الدليل وتقدم الاستنتاجات على أن نشاطات إيران النووية ترمي إلى الحصول على كميات من المواد الانشطارية تكفي لتزويدها بترسانة متواضعة من الرؤوس الحربية النووية؛ ومن هذه المواد اليورانيوم العالي التخصيب بالتأكيد، وعلى

الأرجح البلوتونيوم-239 في غضون سنوات. وبيّنت الوكالة أن برنامج البحوث والتطوير النووي الإيراني مضى في السنوات العشر الأخيرة أبعد بكثير مما يمكن للمرء توقعه عادة من برنامج مخصص لغايات نووية مدنية، بما في ذلك التجارب المعملية للوصول إلى سويات عالية من التخصيب، وعمليات فصل للبلوتونيوم، ومحاولة الحصول على مواد مشعة تعدّ أساسية لإطلاق وسيلة نووية.

وفي كانون الأول/ ديسمبر 2006، اقتنع مجلس الأمن الدولي بما خلُصت إليه الوكالة الدولية للطاقة الذرية ووافق بالإجماع على التطبيق الفوري لسلسلة من العقوبات على إيران. وقد نصّ القرار 1737[54] على جملة من العقوبات، ودعا إيران بشكل أساسي إلى تعليق:[55]

أ. «جميع الأنشطة المتصلة بالتخصيب وإعادة المعالجة، بما في ذلك البحث والتطوير؛

ب. الأعمال المتعلقة بجميع المشاريع المتصلة بالماء الثقيل، بما في ذلك تشييد مفاعل بحث مهدأ بالماء الثقيل [IR-40 في أراك]».

ودعا دول المجتمع الدولي قاطبة إلى اتخاذ التدابير الضرورية «للحؤول دون توريد جميع الأصناف والمواد والمعدات والسلع والتقانات التي من شأنها أن تسهم في أنشطة إيران المتصلة بالتخصيب أو إعادة المعالجة أو المتعلقة بالماء الثقيل، أو في تطوير منظومات إيصال الأسلحة النووية، إلى إيران أو بيعها لها أو نقلها إليها، بطريقة مباشرة أو غير مباشرة...».

حالة الاستعداد الإيرانية الراهنة

نستشف من الأدلة كافة أن إيران واثقة أن ما تعرفه عن تصميم الرؤوس الحربية، بنوعَيها المدفعي والداخلي الانفجار، يكفيها للمضي قدماً في الحصول على المواد الانشطارية اللازمة لتصنيع تلك الرؤوس. وعلى النقيض من البلدان الأخرى التي طورت مؤخراً قدرتها على إنتاج أسلحة نووية بالتركيز على نوع واحد من الرؤوس الحربية (مثلاً باكستان: اليورانيوم العالي التخصيب/ المدفعي؛ وكوريا الشمالية: البلوتونيوم/ الانفجار الداخلي)، نستنتج أن أدلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية وطبيعة عقوبات الأمم المتحدة توحي تماماً بأن إيران تقوم بتطوير نموذجَي الرأس الحربي المدفعي والداخلي الانفجار في آن واحد.

لكن فيما يتعلق بتخصيب اليورانيوم إلى درجة عالية، يبدو أن إيران واجهت صعوبات لا بأس بها في نقل التقنية من حيّز التجارب المعملية إلى نطاق العملية الصناعية المطلوبة التي تستلزم شراء بضعة كيلوجرامات من اليورانيوم العالي التخصيب كل عام، وبخاصة أن عمليات التخصيب في نتنز قد توقفت بسبب تعثّر بناء سلاسل وحدات الطرد المركزي حسب العدد والتعقيد اللازمين. أما سبب تعرّض إيران لهذه الصعوبة الجلية فغير مؤكد، مع أن ذلك قد يكون مردّه إلى عوامل عديدة، منها تفكيك شبكة العالِم الباكستاني عبد القدير خان؛ ووقف عملية نقل التقنية الأجنبية إلى إيران في ضوء تنامي مخاوف الوكالة الدولية للطاقة الذرية منذ عام 2002. ومن المحتمل جداً أن يكون من بين الأسباب أيضاً افتقار إيران إلى الخبرات والمعارف اللازمة لتنظيم وتلبية متطلبات ضمان الجودة والإنتاج اللازمة

لبرنامج تخصيب على نطاق صناعي، بما في ذلك تصنيع، وتركيب، وإعداد لتشغيل ما يصل إلى 100 وحدة طرد مركزي أو أكثر سنوياً.[56]

وثمة احتمال آخر أن يواجه مفاعل IR-40 في أراك، الذي يُعتقد أن الانتهاء من إنجازه سيكون حسب البرنامج ما بين 2010 و2011، صعوبات وتأخيرات مماثلة، لأنه مشروع فريد وعالي التقنية بالنسبة إلى إيران. فالتطوّر من فصل بضعة مليجرامات من البلوتونيوم إلى فصل كيلوجرامات لابد منها لصنع رأس حربي داخلي الانفجار قد ينطوي على تحديات تقنية لإيران، إضافة إلى التحديات المتعلقة بضمان الجودة، وهذا سيؤدي بدوره إلى المزيد من التأخير قبل أن تقدر إيران على التملّص بثقة من الالتزامات التي تفرضها معاهدة عدم الانتشار.

إذا كان ادّعاء الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الذي آمن به مجلس الأمن الدولي كحقيقة مسلّم بها، أن إيران تسعى لامتلاك السلاح النووي بنوعَيه صحيحاً، فهذا يعني أنه انكشف قبل أن يصل إلى المرحلة المتقدمة الكافية لضمان قدرة إيران على التملص من معاهدة عدم الانتشار. ومع أن العقوبات الدولية قد تعرقل تقدّم إيران، إلا أنها قد لا تتمكن من الوقوف كلياً في وجه حكومة عقدت العزم على أن تتحوّل إلى دولة ذات أسلحة نووية يوماً ما.

العقوبات الدولية: المخاطر الإشعاعية المرافقة

البعد العسكري: يدلّ تطبيق عقوبات الأمم المتحدة على أن المجتمع الدولي قد أدرك أن إيران يمكن أن تشكل في وقت ما من المستقبل المنظور تهديداً نووياً. ويمكن تفسير هذا التهديد بأنه إما تهديد محلي في المنطقة، أو

عالمي يتمثل بإيصال القذائف البالستية ballistic missiles المتقدمة، أو بنقل التقنيات أو التجهيزات إلى طرف ليس دولة non-state actor بشكل غير مباشر، أو بالأمرين معاً.[57,58]

وبمعزل عن السبب الجيوسياسي المعقد الذي يمكن طرحه لتبرير هجوم عسكري ما، أو ربما الحيلولة دون وقوعه، يبقى الهدف الأشد وضوحاً هو إيقاف تقدم مسيرة إيران نحو امتلاك أسلحة نووية. وفي مثل هذه الظروف، قد تُستهدف عسكرياً منشآت رئيسية تعمل في مجالَي التخصيب والبلوتونيوم، أي ربما بالتركيز على منشأتي نتنز وأراك. ولن يترتب على الهجوم على محطة نتنز أهمية إشعاعية كبيرة خارج النطاق المحيط بالمنشأة، إذ قد لا تتعدى مسافة انتشار الإشعاع بضعة كيلومترات باتجاه الريح. أما الهجوم على محطة أراك للماء الثقيل ومفاعل IR-40 الذي لم ينته بعد فلن تكون له أي آثار إشعاعية.

وبرغم أن محطة بوشهر الكهرنووية لا تعدّ مهمة جداً لبرنامج إيران العسكري، فإن العواقب الإشعاعية المحتملة لأي هجوم قد تتعرض له هذه المحطة ستقرره حينها المرحلة التي يتم فيها تزويد المفاعل بالوقود وتشغيله.[59] وأهم هذه التواريخ طبقاً للجدول الزمني هو آذار/ مارس 2007 الذي تتسلّم فيه المحطة أولى شحنات وقود اليورانيوم (غير المشعَّع) الجديدة، وبدءاً من أيلول/ سبتمبر 2007 تقريباً، أي حين يصبح المفاعل حرجاً.[60]

وقبل أن يبدأ مفاعل بوشهر العمل، ستقتصر مخاطره الإشعاعية على مخزونه الجديد من الوقود (أي سيكون الخطر الإشعاعي في حده الأدنى).

لكن بعد أن يشتغل المفاعل، سيصل مخزون وقوده (المشعّ) حدّه الأقصى[61] مع نهاية السنة الثالثة أو الرابعة؛ أي لنقل خلال 2010-2011، وستكون العواقب الإشعاعية المحتملة في أشدها في تلك الآونة وما بعدها. وكما ذكرنا سابقاً، تعدّ الترتيبات الخاصة بنقل الوقود المشعّع من حوض تخزين الوقود غير مؤكّدة. ونظراً لحساسية المسائل المتعلقة بعدم الانتشار، يصرّ الاتحاد الأوربي على وجوب إعادة هذا الوقود إلى الاتحاد الروسي على دفعات بعد مرور نحو خمس سنوات على تبريد قلب المفاعل. وإذا تأخرت عمليات إعادة الوقود، خمسة عشر عاماً مثلاً، فإن المخزون المشعّ من النويدات radionuclides المؤقتة الأمد والطويلة الأمد (عمر النصف) في الوقود المتجمع في حوض التخزين سيفوق كمية الوقود الموجود في القلب النشيط للمفاعل.

نُشرت عدة تقييمات تتناول تداعيات حادث محتمل يتعرض له مفاعل ماء مضغوط طاقته نحو 1000 ميجاواط كهربائي، وتنبعث منه منتجات قلب المفاعل المشعة. وتتوقع إحدى هذه الدراسات[62] أن واحداً في الألف من إجمالي نشاط القلب الذي ينبعث لمدة أربع ساعات سوف يتسبب في 1680 حالة سرطان مميتة على المدى القريب، في منطقة مساحتها 1500 كلم^2 (في غضون أسابيع وأشهر) وبـ 14400 حالة وفاة على المدى الأبعد (على مدى العمر المتبقي لأولئك الذين تعرضوا للإشعاع).[63] وبالطبع، لا مجال للثقة إطلاقاً بتحليل يُطبّق على مكان ما استناداً إلى آخر أُخذ من محطة كهرنووية موجودة في منطقة أخرى، لأن ثمة معايير عديدة ينبغي تطبيقها وأخذها في الحسبان، وستختلف نتائجها اختلافاً جوهرياً وفقاً للمناخ، والعادات السكانية وأنماط المعيشة، والتركيبة السكانية، وغير ذلك. وهذا يعني أنه لا

هذا التقييم ولا غيره من التقييمات الأخرى للآثار الإشعاعية المحتملة لانبعاثات إشعاعية مشؤومة تنطلق من محطة كهرنووية تجارية الحجم، يمكنه أن يشكل دلالة يُعتدّ بها على مدى العواقب الوخيمة التي يمكن أن تنشأ في المنطقة.

وبالحديث عن منطقة الخليج العربي، نجد أن العواقب الإشعاعية الناجمة عن انبعاث إشعاعي شديد من بوشهر، سواء أكان نتيجة مباشرة لهجوم عسكرية أم لحادث كبير، والمتمثلة في انتشار سحابة من الملوثات الإشعاعية تسير مع الريح قد تستلزم إجراءات عاجلة تستهدف حماية السكان (الملاجئ وعمليات الإخلاء)؛ وقيوداً تفرَض على توزيع الغذاء؛ وإغلاقاً لمحطات تحلية المياه؛ وإزالة التلوث مؤقتاً من الأراضي والمباني في دولة الإمارات العربية المتحدة كلها، أو في مناطق معينة منها. ونلخص في الملحق الثالث التداعيات الإشعاعية المحتملة لعدد من المواقع النووية الموجودة في إيران، وليس جميعها.

السلامة النووية: نظراً لأن العقوبات ضد إيران ستؤدي إلى وقف -أو على الأقل عرقلة- عملية نقل المعرفة والمعلومات ومنظومات السلامة إليها، فهذا قد يؤثر من ثم في سلامة النشاطات التي تقوم بها إيران في مجالات تخصيب اليورانيوم والماء الثقيل. وبرغم أن عقوبات مجلس الأمن الدولي تستثني بشكل خاص نقل المعلومات والتقنية المرتبطة بمحطة بوشهر الكهرنووية التي قاربت على الإعداد للتشغيل وتسمح بها، فإن القدرة المزدوجة للمشروعات الأخرى ستعاني عملياً من جراء حاجة شديدة للمعلومات، والتعليم، والمشروعات المشتركة بين إيران والمجتمع النووي الدولي أجمع.

وتكمن المفارقة هنا في احتمال افتقاد إيران الثقافة اللازمة للمحافظة على السلامة النووية مع وشك البدء بتشغيل أضخم مصدر للإشعاع في المنطقـة، في بوشهر، مما قد تنجم عنه انبعاثات إشـعاعية تعـمّ المنطقـة، وتترافـق بآثـار صحية واقتصادية لا طاقة لأحد بتحملها.

الملاحق

الملحق الأول

جدول زمني بأهم التواريخ في البرنامج النووي الإيراني

التاريخ	النشاط	الدور المزدوج	الوكالة الدولية للطاقة الذرية/ العمل السياسي...إلخ.
1967	الولايات المتحدة الأمريكية تقوم بتركيب مفاعل طهران للبحوث.		
1970			إيران تصادق على معاهدة عدم الانتشار النووي.
1975	كرافتفيرك توقع عقداً لمفاعلَي ماء مضغوط في بوشهر.		
/1979 1982	التخلي عن إنشاء وحدات مفاعل الماء المضغوط في بوشهر على التوالي.		
1985	إيران تشرع بنشاطات تطوير رأس حربي نووي.		
/1988 1989	استخلاص كميات معملية من البلوتونيوم-239.	✓	
1991	إيران تشتري 1800 كيلوجرام من كعكة اليورانيوم الصفراء من الصين.	✓	

1993	تشعيع واستخلاص عينات من البلوتونيوم-210.	✓	
1995	الاتحاد الروسي يوقّع عقداً لإكمال أحد مفاعلي الماء المضغوط في بوشهر.		
1996	الصين تزوّد محطة أصفهان بسادس فلوريد اليورانيوم UF_6.	✓	
2002			آب/ أغسطس: المجلس الوطني للمقاومة المُعارض يفضح المدى الذي وصله البرنامج النووي الإيراني.
2003	الوكالة الدولية للطاقة الذرية تكتشف من العينات المأخوذة من البيئة المحيطة بمحطة نتنز نوعين من اليورانيوم العالي التخصيب.		شباط/ فبراير: الوكالة الدولية للطاقة الذرية تزور محطة تخصيب نتنز. آب/ أغسطس: الوكالة الدولية تقدم تقريرها حول ما تكشّف لها في نتنز. أيلول/ سبتمبر: الوكالة الدولية تدعو إيران للتعاون الكامل فيما يتعلق بنشاطاتها السابقة. تشرين الأول/ أكتوبر: إيران توافق مع الترويكا الأوربية على حلّ الانتهاكات السابقة للضمانات وتقوم بتعليق

			نشاطات التخصيب والمعالجة. **كانون الأول/ ديسمبر:** إيران توقع، دون أن تصدّق، على البروتوكول الإضافي لمعاهدة عدم الانتشار النووي.
2004	بدء تحويل 37 طناً من سادس فلوريد اليورانيوم في أصفهان في أيلول/ سبتمبر. بدء أعمال البناء لمفاعل البحوث والتطوير IR-40 في أراك.	✓ ✓	**حزيران/ يونيو:** قرار الوكالة الدولية يدين مواصلة إيران عدم الامتثال. **أيلول/ سبتمبر:** الوكالة الدولية تدعو إلى تعليق النشاطات النووية وتهدد بإحالة إيران إلى مجلس الأمن الدولي. **تشرين الثاني/ نوفمبر:** إيران توافق على إعادة التعليق التام لنشاطات التخصيب وإعادة المعالجة.
2005			**يونيو/ حزيران:** الرئيس محمود أحمدي نجاد يفوز في الانتخابات الرئاسية. **أيلول/ سبتمبر:** الرئيس أحمدي نجاد يواجه القمة العالمية.
2006	إيران تبدأ من جديد عمليات تحويل سادس فلوريد اليورانيوم في أصفهان.	✓ ✓	**آذار/ مارس:** روسيا تقترح تنازلاً محدوداً لتقوم إيران بالتخصيب على نطاق ضيق. **نيسان/ إبريل:** الوكالة الدولية

	إيران تبدأ من جديد التحضير لتخصيب اليورانيوم في نتنز. إعداد محطة الماء الثقيل في أراك للتشغيل.	✓	تمنح إيران مهلة 30 يوماً (28 نيسان/ إبريل) للامتثال وتعليق نشاطات التخصيب وبناء المفاعل IR-40 والتصديق على البروتوكول الإضافي. وإيران تواصل نشاطات التخصيب وإنشاء المفاعل IR-40. كانون الأول/ ديسمبر: مجلس الأمن الدولي يوافق على فرض عقوبات على إيران.

الملحق الثاني

مسرَد المصطلحات النووية

شدّة القَصْم brisance: مقياس تَسارع متفجرة ما وصولاً إلى ضغطها الأقصى (حيث إن القصم العالي يعني متفجرة سريعة الانفجار). وبالاختيار المتأني لمستويات القصم (بطيء، متوسط، سريع) يمكن تشكيل عدسات المتفجرة لتوجيه موجة ضغط التفجير أو دمجها.

الاستحراق burn-up: مستوى تشعيع الوقود (بوساطة النيوترونات)، مقيساً بجيجاواط في اليوم/ طن يورانيوم (GWd/tU).

التعاقب cascade: تجميع سلسلة مترابطة من وحدات الطرد المركزي الفردية المتتالية، بحيث تتلقى كل وحدة من وحدات الطرد المركزي التالية حصيلة اليورانيوم-235 المخصّب تخصيباً خفيفاً التي نتجت من الوحدة التي سبقتها.

الكتلة الحرجة critical mass: الكتلة الحرجة لمادة انشطارية هي المقدار اللازم للمحافظة على استمرارية التفاعل النووي المتسلسل. وفي الكتلة الحرجة تكون النيوترونات التي تنطلق في كل انشطار كافية تماماً للإبقاء على الحرجية (الحالة الحرجة) criticality، أو ما يعرف بالتفاعل المتسلسل. وتعتمد الكتلة الحرجة لمادة انشطارية على خصائصها النووية، وخصائصها الفيزيائية (وبالأخص كثافتها)، وشكلها، ودرجة تخصيبها أو نقاوتها النظرية. وإذا أحيطت المادة الانشطارية بعاكس نيوترونات، كالبريليوم أو كربيد التنغستن، تنخفض الكتلة اللازمة للتفاعل.

دون الحرجة subcritical: الحالة التي تنعدم فيها القدرة على مواصلة عملية الانشطار أو التفاعل المتسلسل.

فوق الحرجة supercritical: الحالة التي يتم الانشطار فيها بشكل متزايد.

بلوتونيوم المرحلة دلتا delta-phase plutonium: عند تسخين البلوتونيوم، يمرّ بالعديد من المراحل المعدنية (أي البنية البلّورية). ويعدّ استخدام بلوتونيوم المرحلة دلتا المتوسط الكثافة (16.9 جراماً/ سم^3) للحفرة الانشطارية أمراً مهماً لسببين: الأول، لأنه يختلط فوراً في هذه المرحلة بمقادير ضئيلة جداً من الغاليوم أو الإنديوم، مما يحسّن الاستقرار والطَروقية (المطاوعة) malleability. والثاني، أن المرحلة دلتا تمرّ في أثناء مرحلة الانضغاط في التفجير النووي بانتقال سريع إلى المرحلة ألفا α-phase الأشد كثافة (19.2 جراماً/ سم^3)، ما يزيد في حشر التفاعلية من أجل الحرجية النووية.

الترويكا الأوربية EU-3: الفريق الذي يضم فرنسا وألمانيا والمملكة المتحدة ويتفاوض مع إيران لحلّ الصعوبات المعلقة مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

انشطاري fissile: يكون العنصر الانشطاري قادراً على الانشطار، أي شطر (فلق) splitting ذرة اليورانيوم (عادة) إلى جزأين بالتصادم مع نيوترون، ما يؤدي إلى انطلاق منتجات انشطارية والمزيد من النيوترونات، وهكذا ينشأ التفاعل المتسلسل. وفي كل انشطار يتحرّر قدر كبير من الطاقة التي يمكن تبديدها على شكل حرارة تؤدي إلى زيادة شدة البخار وقوة تربينات الطاقة اللازمة لتوليد الكهرباء.

الاندماج fusion: هو دمج ذرات خفيفة-الهيدروجين في تفاعل اندماج الديتريوم-التريتيوم، ما ينتج عنه تحرر للطاقة. ولخلق الظروف التي تؤدي إلى

الاندماج، وللمحافظة على هذه الظروف لابد من وجود مستويات هائلة من الطاقة. ولذلك يتم في القنبلة الهيدروجينية إثارة الاندماج في المرحلة الأولى من التفجير (الانشطار) النووي.

النموذج المدفعي gun type: هو أبسط تقنية لتجميع كتلة فوق حرجة، ويتم الوصول إليها بإطلاق قطعة واحدة من مادة انشطارية تكون القذيفة على قطعة ثانية تكون الهدف. وبجمع القذيفة والهدف معاً، تنتج الكتلة الحرجة. ونظراً للوقت الطويل نسبياً الذي يستغرقه جمع المواد، لا يمكن استخدام هذا الأسلوب من الجمع عملياً إلا مع اليورانيوم-235. ومن الممكن إحداث التفجير قبل الأوان باستخدام البلوتونيوم-239 الذي يتميّز بالقدرة العالية على الإطلاق التلقائي للنيوترونات، نظراً لتلوثه بالبلوتونيوم-240.

جيجا بيكريل/ م^3 (GBq/m^3): كل جيجا يساوي $10x^9$، أو ألف مليون انحلال للبيكريل (Bq)؛ وهي الوحدة الدولية الخاصة بقياس النشاط الإشعاعي للمواد، والمقصود بالمواد هنا النفايات المشعة. وتستخدم أيضاً وحدة تيرا بيكريل (TBq)، حيث إن التيرا -T تساوي $10x^{12}$.

جيجاواط في اليوم/ طن يورانيوم (GWd/tU): مقدار الطاقة المستخلصة من الوقود. ويستخدم هذا المصطلح لقياس مقدار الطاقة الكهربائية (GWd in $x10^9$ Watt-day) المتولدة من طن واحد من وقود اليورانيوم (tU)؛ وهذه هي سوية التشعيع التي وصلها الوقود، ويشار إليها أحياناً باسم **الاستحراق**.

عمر النصف half-life: هو الزمن الذي يستغرقه النشاط الإشعاعي لعنصر ما كي يتحلل إلى نصف واحد من نشاطه (الإشعاعي). وعمر النصف لنظير ما هو نفسه دائماً مهما كانت حالة الانحلال التي يكون عليها. فمثلاً، عمر النصف

للبيرليوم-11 هو 13.81 ثانية. وهكذا إذا بدأنا بكتلة من البيرليوم-11 تساوي 16 جراماً، فسوف تتحلل هذه الكتلة بعد 13.81 ثانية إلى 8 جرامات، وفي 13.81 ثانية أخرى ستكون كتلة البيرليوم-11 هذه قد تحللت إلى 4 جرامات، ثم في 13.81 أخرى إلى جرامين، ثم جرام واحد، ثم نصف جرام، وهكذا دواليك. وتتراوح أعمار النصف الإشعاعية بين أجزاء من الثانية وثوان (الأكسجين -22 في 2.25 ثانية)، وإلى آلاف السنوات (البلوتونيوم-239 في 24400 سنة)، وملايين السنوات (اليورانيوم-235 في 704 ملايين سنة).

نموذج الانفجار الداخلي implosion type: عملية انضغاط يمارَس فيها الضغط الخارجي على كرة مجوفة من البلوتونيوم-239 أو اليورانيوم-235 دون الحرج بوساطة عدسات تقليدية شديدة التفجير وصولاً إلى حجم فوق حرج يؤدي إلى التفجير النووي.

كيلوطن (kt): أو ما يعادل 1000 طن من الطاقة التفجيرية لمادة تي.إن.تي (TNT). ويستخدم مصطلح كيلوطن عموماً كمقياس خام لقوة التفجير النووي.

اليورانيوم المنخفض التخصيب (LEU): يورانيوم ذو سوية تخصيب منخفضة تم الحصول عليه بعد تخصيبه بنظير اليورانيوم-235 الانشطاري وصولاً إلى درجة تخصيب أعلى وتفوق السوية الطبيعية البالغة نحو 0.7٪. ويتم عادة تبني هذا المصطلح للإشارة إلى اليورانيوم المخصب إلى نسبة 4-5٪ من أجل استخدامه في المفاعلات الكهرنووية التجارية؛ وذلك بالمقارنة مع **اليورانيوم العالي التخصيب** (HEU) الذي يتم تبنيه لليورانيوم-235 المخصب بنسب تزيد على 60٪. (يدعى اليورانيوم-235 المخصب بنسبة تزيد على 90٪ **اليورانيوم العالي التخصيب الصالح للاستعمال في الأسلحة النووية**).

مهدِّأ moderated: المفاعل المهدَّأ هو المفاعل الذي يتم فيه إبطاء سرعة النيوترونات المتحررة في تفاعل متسلسل. وتتم عملية الإبطاء في وسط مهدِّئ يتراوح من السرعة العالية إلى البطيئة أو ما يعرف باسم سرعة الهياج الحراري thermal velocity. وهكذا تتزايد فرصة حدوث الانشطار وأسر النيوترونات في اليورانيوم-238 الخصب، ما يؤدي إلى إنتاج قدر وافر من البلوتونيوم. وأهم مادتين مهدئتين فاعلتين الجرافيت والماء الثقيل.

ميجاواط كهربائي (MWe): وحدة تشير إلى الطاقة وتستخدم عادة لتحديد القدرة الكهربائية التي تنتجها محطة كهرنووية ما، أو محطة لتوليد الكهرباء. ويُعبّر عنها بالوحدات الكهربائية المتولدة (e). وفيما يتعلق بدورة البخار أثناء توليد الكهرباء، نجد أن نحو ثلثي إجمالي الطاقة الحرارية الناتجة يتبدّد في البيئة. وهكذا تغدو استطاعة المحطة، التي يُعبر عنها بوحدات كهربائية، معادلة تقريباً لثلث الحرارة أو المعدل الحراري للمحطة نفسها؛ أي إن محطة 1000 ميجاواط كهربائي تعادل تقريباً محطة 3000 ميجاواط حراري.

ميجاواط حراري (MWt): تعبير عن الاستطاعة الموظفة للطاقة ويشار إليها بميجا (أي مليون) واط من الطاقة الحرارية (t).

النانوثانية nanosecond: وحدة قياس زمنية تعادل جزءاً من ألف مليون جزء من الثانية (0.000 000 001)، أي $10x^{-9}$ ثانية.

المفاعل الحوض pool reactor: نموذجياً، هو مفاعل بحوث وتطوير لا يحتاج تشغيله إلى طاقة عالية، ويشتغل في ضغط منخفض، ويكون مغموراً في خزان ماء كلندريا calandria [وعاء مفاعل طراز كندو (أي مفاعل اليورانيوم-الديتريوم الكندي)] وهو يقوم بدور الدرع الواقية من الإشعاع والمبادل الحراري المنخفض

السوية الذي يبدّد الطاقة الحرارية المتولدة كناتج ثانوي من نواتج الانشطار النـووي الجاري في قلب المفاعل.

النشاط الإشعاعي radioactivity: عموماً، هو العمليات المتنوعة التي تقوم فيها أنوية الذرات غير المستقرة بإصـدار جسيمات تحـت-ذريـة (الإشـعاع). ويحـدث الانحلال للنواة الأم منتجاً النـواة الوليـدة. والوحـدة المستعملة لقيـاس النـشاط الإشعاعي هي **البيكريل** (Bq). وإذا أنتجت كمية من المادة المشعة انحـلالاً واحـداً في الثانية، يكون نشاطها الإشعاعي مساوياً بيكريل واحداً. ولأن أي عينـة معقولـة الحجم من المادة المشعة تكون حاوية لعـدد مـن الـذرات، يمثـل البيكريـل الواحـد مستوىً ضئيلاً جداً من النشاط؛ ولذلك يشيع التعبير عنه بـ **جيجا بيكريل**. فمـثلاً، وحدة **كوري** (Ci)، التي كان تعريفها في الأصل هو النشاط الإشعاعي لجرام واحد من الراديوم النقي تساوي 37 جيجا بيكريل.

موضوع تحـت نظـام الـضمانات safeguarded: أي عمليـات، أو محطـات، أو مخازن للمـواد تكـون خاضـعة لـشروط معاهـدة عـدم الانتـشار النـووي (NPT) وأحكامها تُعرف بأنها موضوع تحت نظام الضمانات. ويـتم هـذا عـادة مـن خـلال جولات يقوم بها مفتشو الوكالـة الدوليـة للطاقـة الذريـة (IAEA)، ويتفقـدون في أثنائها الكميات المادية (بالقيام بأعمال القياس والتدقيق الحسابي على مخـزون المـواد، والمعدات، وقدرات المحطات، وما إلى ذلك).

الحدّ الخاص بالمصدر source term: أي المقـدار الإجمـالي للنـشاط الإشـعاعي، والمقصود به هنا النشاط الإشعاعي لقلب الوقود في مفاعـل بوشـهر الـذي سـيتغير (يزداد) لأن تشعيع الوقود أو استحراقه سيتم داخل قلب المفاعـل. والحـد الخـاص بالمصدر هو الكمية الإجمالية مـن النـشاط الإشـعاعي المتـوافرة للانطـلاق في حـال

وقوع حادث أو خطأ يؤدي إلى تجاوز حاوية المفاعل (النطاق الذي يحتوي مصدر النشاط الإشعاعي) أو إلحاق الضرر بها، ما ينجم عنه انطلاق النشاط الإشعاعي. ويشار إلى كمية النشاط الإشعاعي المتسرب أو القدر الضئيل منه باسم كسر **الانطلاق** *release fraction*.

التريتيوم Tritium: يوجد التريتيوم T (^3H) في الطبيعة (نتيجة لتفاعل الأشعة الكونية مع الغلاف الجوي للكرة الأرضية). وينتج أيضاً من التفاعل النووي حين يأسر الديتريوم نيوتروناً. ويبلغ عمر النصف للتريتيوم 12.3 سنوات. ويستعمل التريتيوم في الأسلحة النووية كبادئ في القنبلة الانشطارية (الذرية) من خلال توليد فيض من النيوترونات الناتجة من اندماجه في أثناء مرحلة الانضغاط المتأخرة. ويمكن أن يستخدم التريتيوم في التحديد المسبق لناتج السلاح (أي شدة الانفجار المطلوبة). وفي تصاميم القنبلة الاندماجية (الهيدروجينية) الأقدم، استعمل التريتيوم وقوداً للاندماج، لكن الشائع الآن استعمال الليثيوم بدلاً منه.

طن يورانيوم (tU): وزن الوقود، بإهمال وزن شبكات مجمّع الوقود وأقواسه، وما إلى ذلك...

اليورانيوم-235 (U-235): هو النظير الانشطاري لليورانيوم الذي يظهر في الطبيعة بمستويات تقارب 0.7٪، مقارنة باليورانيوم-238 الخصب الذي يشكّل معظم ما تبقى من اليورانيوم الموجود بوفرة في الطبيعة.

سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6): سادس فلوريد اليورانيوم هو الحالة الغازية اللازمة لعملية التخصيب.

ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2): هو الشكل الأكثر شيوعاً لمعظم أنواع وقود المفاعلات النووية التجارية، بعد أن يتم تلبيده sintered إلى كريات وقود.

الكعكة الصفراء yellowcake أو urania: هي المركّز الأول الذي ينتج من عملية تعدين الخامات الحاوية على اليورانيوم وطحنها. والكعكة الصفراء عبارة عن عجينة تتألف من أكسيد اليورانيوم الخام المركّز U_3O_8، وهي المادة المترسبة نتيجة لفصل الخامات الحاوية على اليورانيوم من خلال تذويبها حمضياً.

شرح مصطلحات أخرى وردت في النص*

التفاعل المتسلسل chain reaction: في التفاعل المتسلسل، تقوم النواة الانشطارية بأسر نيوترون وتنشطر مولّدة عدداً من النيوترونات الأخرى، وتتواصل عملية أسر النوى الانشطارية للنيوترونات وانطلاق المزيد من النيوترونات في كل مرة. ويقال عن تفاعل ما إنه ذاتي التسلسل عندما يكون عدد النيوترونات المنطلقة في زمن ما يعادل -أو يفوق- عدد النيوترونات المفقودة في عملية الأسر بفعل المواد غير القابلة للانشطار، أو نتيجة للتسرب خارج المنظومة.

الانشطار النووي nuclear fission: انقسام نواة الذرّة إلى شطرين سريعين ومتقاربين في الكتلة، ويكون مصحوباً بنيوترونات سريعة وأشعة غاما، وتنفرد النوى الثقيلة بهذه الخاصية. ويكون الانشطار إما تلقائياً (ذاتياً) أو مستحثاً، ويتحرر قدر كبير من الطاقة في هذا التفاعل.

* من إعداد المترجم.

العاكس reflector: طبقة إضافية من المهدئ، أو من مادة أخرى توضع خارج قلب المفاعل، والهدف منها العمل على تقليل عدد النيوترونات المتسربة وردّ جزء كبير منها إلى قلب المفاعل.

تدفق النيوترونات neutron flux: يمثّل تدفق (فيض) النيوترونات عدد الإشعاعات المتدفقة عبر وحدة المساحة في وحدة الزمن.

الدثار blanket: هو طبقة من مادة خصبة (اليورانيوم-238 عادة) تحيط بقلب المفاعل. أما قلب المفاعل **reactor core** فهو المنطقة الوسطى من المفاعل النووي التي تحتوي عناصر الوقود، ويحدث فيها التفاعل المتسلسل للانشطار النووي السريع. وفي مفاعل الاندماج، قد يكون الدثار من الليثيوم لأسر النيوترونات وتكوين المزيد من التريتيوم.

نموذجا الطرد المركزي P-1/ P-2: قامت باكستان بتطوير هذين النموذجين من أجهزة الطرد المركزي لصالح برنامجها النووي الخاص بها؛ وهما أول نموذجين قامت باكستان بنشرهما بأعداد كبيرة. ويستعمل في النموذج P-1 جهاز دوّار rotor مصنوع من معدن الألمنيوم، بينما يستعمل في النموذج P-2 جهاز دوّار من الصلب المارتنستي maraging steel الذي يتميز بقوته وسرعة دورانه، وبذلك فهو يخصّب كمية من اليورانيوم في الآلة الواحدة تفوق تلك التي يخصبها نظيره المصنوع من الألمنيوم في التصميم P-1. أما الصلب المارتنستي فهو عبارة عن سبيكة من الحديد خالية من الفحم (وهذا ما يميّزها عن مختلف أشكال الفولاذ الأخرى) وتتكون من معادن النيكل والموليبدنيوم والألمنيوم والنحاس والتيتانيوم، كما يضاف إليها الكوبالت بنسبة تصل إلى 12٪. ويتمتع هذا الصلب بمواصفات فائقة كالقوة

والصلابة والمطاوعة، وسهولة التشكيل بأقل قدر من التشوّه، ومقاومته للتآكل والتشقق.

المهدِّئ moderator: مادة تستخدم في المفاعلات النووية لتهدئة النيوترونات السريعة المتولدة من عملية الانشطار. وبعد التهدئة تصبح هذه النيوترونات مهيأة لشطر النوى الانشطارية. ومن أهم المهدئات الجرافيت والماء العادي والماء الثقيل.

الجرافيت graphite: شكل من أشكال الكربون يظهر كبلورات سوداء متماسكة، ويستخدم كمهدئ وعاكس للنيوترونات في الكثير من المفاعلات.

إعادة معالجة الوقود fuel reprocessing: تشتمل عملية إعادة معالجة الوقود على المعالجة الكيميائية والفيزيائية والمعدنية للعناصر الداخلة في تركيبة الوقود المستخدم في مفاعل نووي، وذلك من أجل استخلاص (استرجاع) المواد الانشطارية الخصبة من الوقود المستهلك وتنقيتها.

النفايات المشعة radioactive waste: هي المواد المشعة التي تخلفها عملية إنتاج النويدات المشعة والوقود النووي أو استعمالها. ولا يُقصد بالنفايات تلك النويدات المشعة التي وصلت إلى مرحلة نهائية من التصنيع وغدت صالحة للاستعمال في الأغراض الطبية أو الزراعية أو الصناعية، أو غيرها.

المحطة الكهرنووية (NPP): محطة لتوليد الطاقة الكهربائية بوساطة تحويل الطاقة النووية الناتجة من الانشطار النووي إلى حرارة تستخدم في توليد بخار الماء ومن ثم إدارة التربينات التي تدير بدورها المولدات الكهربائية.

مفاعل الماء المضغوط PWR: مفاعل نووي يُستعمل الماء فيه للتهدئة والتبريد تحت ضغط يمكّنه من تفادي الوصول إلى مرحلة الغليان. وتستخدم حرارة الماء المسخَّن في توليد البخار عبر مبادل حراري heat exchanger.

مفاعل الماء المغلي BWR: هو مفاعل ماء عادي يسمح للماء بالغليان داخل قلب المفاعل متحولاً إلى بخار، وبذلك تنتفي الحاجة إلى وجود مبادل حراري.

مفاعل ماجنوكس Magnox: مفاعل نووي بريطاني يستخدم اليورانيوم الطبيعي وقوداً.

محطة ثورب لإعادة الأكسدة الحرارية THORP: وهي محطة تقع في سيلافيلد، إنكلترا، وتشغّلها المجموعة النووية البريطانية (BNG). وفيها تتم إعادة معالجة الوقود النووي المستهلك المأخوذ من المفاعلات النووية لفصل اليورانيوم والبلوتونيوم منه، ولإعادة استعماله في مزيج وقود أكسيدي مأخوذ بدوره من النفايات المشعة التي تتم معالجتها وتخزينها في المحطة.

وحدة كوري (Ci): جاءت التسمية "كوري" تخليداً لمكتشفَي الراديوم عام 1898، ماري وبيير كوري. ومع أن وحدة كوري مثّلت الوحدة التقليدية للفاعلية الإشعاعية زمناً طويلاً في السابق، فقد استعيض عنها بالوحدة الدولية الجديدة "بيكريل" منذ عام 1975.

التلبيد sintering: هو إحداث الترابط بين مواد مسحوقة ومدمجة معاً دون انصهارها، وذلك بوساطة التفاعلات الحرارية التي تجرى في الحالة الصلبة عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الانصهار. وتستخدم هذه الطريقة لتقوية الخامات وفي تعدين المساحيق وغيرها. ومن أجل المفاعلات، يتم تلبيد ثاني أكسيد

اليورانيوم (UO_2) إلى كريات وقود، ومن ثم تُغلَّف هذه الكريات بغلاف من سبيكة الزركونيوم أو بمادة الصلب لعمل قضبان الوقود fuel rods التي تجمع في مجموعات لاستخدامها في قلب المفاعل.

جسيمات ألفا alpha particles: تنتج هذه الجسيمات من انحلال نوى بعض الذرات الثقيلة، أو من بعض التفاعلات النووية. وهي عبارة عن نواة الهليوم، وتتكون من بروتونين ونيوترونين، ولها شحنة ثنائية موجبة.

الامتزاز adsorption: ربط ذرّات أو جزيئات أو أيونات على السطح الخارجي لمادة صلبة عبر روابط كيميائية أو فيزيائية.

المايكرون micron: يعادل جزءاً من مليون جزء من المتر.

النفايات المشعة radioactive waste: هي نواتج الصناعة النووية العديمة القيمة، ولكن بسبب نشاطها الإشعاعي تخضع لترتيبات خاصة لحفظها ونقلها والتخلص منها. ولا يعدّ من هذه النفايات ذلك الوقود النووي المستهلك في النفايات، إذا أريدت إعادة معالجته لاستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم.

الملحق الثالث

العواقب المحتملة لحوادث أو ضربات عسكرية

المنشأة النووية	الإطار الزمني/ الوظيفة	الأثـــــر
مفاعل طهـران، 5 ميجاواطـات حراريـــــة	مفاعل حوض صغير للبحوث والتطوير، استعمل قلباً من اليورانيوم مخصّباً بنسبة 20٪. تصميم الحاوية يعود إلى ستينيات القرن العشرين.	الحدّ الخاص بالمصدر ضئيل نسبياً، لكن تحديد الأثر الإشعاعي ذو صلة رئيسية بكونه يقع في منطقة سكنية في طهران. وتعني طاقة القلب المنخفضة أن الطاقة التي يمكن أن تنتشر نتيجة حادث ما ستكون ضئيلة نسبياً. لكن تعرّض المفاعل لضربة عسكرية يمكن أن يتسبب بتحرير طاقة أشدّ (على شكل سحابة مرتفعة في الجو) وعواقب وخيمة؛ أي خطر تعرض إمدادات مياه الشرب والمجاري المائية للتلوث.
مفاعل الماء المضغوط في محطة بوشهر الكهرنوويـــة	سيتم تسليم الوقود النووي للموقع في شهر مارس/ آذار 2007.	إذا نفذت الضربة قبل مارس/ آذار 2007، فلن يكون لها أي أثر إشعاعي.
	من المتوقع بدء تشغيل المفاعل ما بين شهرَي أيلول/ سبتمبر وتشرين الثاني/ نوفمبر 2007.	سيكون الأثر الإشعاعي الناتج من تنفيذ الضربة بين آذار/ مارس وبدء التشغيل في أيلول/ سبتمبر 2007 في حده الأدنى، ومردّه انتشار وقود اليورانيوم غير المشعّع؛ وذلك لأن قلب وقود المفاعل لن يكون قد شُعّع بعد، وبالتالي فإن الحدّ الخاص بالمصدر المشعّ سيعود لليورانيوم المنخفض التخصيب، ولن يحتوي أي منتجات انشطار تُذكر.
	بعد تشغيل المفاعل.	ستتزايد العواقب الإشعاعية المحتملة بعد بدء تشغيل المفاعل بنحو 3–4 سنوات لتصل حدها الأقصى، وذلك بسبب وجود المخزون الإشعاعي

		بأقصى مداه في المفاعل؛ إذ سيبدأ المخزون الإشعاعي البارز في التراكم كوقود مشعّع في حوض التبريد المائي، وسيعتمد وضعه على الترتيبات الخاصة بإعادة الوقود المشعّع إلى الاتحاد الروسي. ويمكن أن تمتدّ العواقب الإشعاعية إلى خارج حدود إيران لتشمل دول الخليج العربية، ولتحدّ من حركة الملاحة في الخليج العربي.
محطة أراك لإنتاج الماء الثقيل (D_2O)	العمل فيها متواصل منذ عام 2006 (وقد لا تكون قيد التشغيل الكلي).	سيؤدي تنفيذ الضربة قبل بدء تشغيل المفاعل IR-40 (حوالي عام 2010) إلى عرقلة تجميع مخزون الماء الثقيل الناتج من المحطة، وإلى تأخير بدء تشغيل المفاعل IR-40. أما تنفيذ الضربة بعد التشغيل فقد يعرقل كثيراً إمدادات الماء الثقيل اللازمة سنوياً لتموين المفاعل (حتى 8 أطنان من الماء الثقيل D_2O سنوياً).
مفاعل IR-40 في أراك	من المتوقع إعداد المفاعل للتشغيل/ إقلاعه ما بين عامَي 2010 و2011.	لن يكون لتنفيذ الضربة قبل إعداد المفاعل للتشغيل أثر إشعاعي يُذكر. ومن المحتمل أن تؤدي عقوبات الأمم المتحدة إلى تأخير الانتهاء من أعمال الإنشاء والتجهيز. ومن المحتمل جداً أنها ستؤخر بدء تشغيل المفاعل على نحو كبير.
محطة الفصل الكيميائي للبلوتونيوم في أراك	ابتداء من بدء تشغيل المفاعل +3 إلى 6 أشهر عقب استلام أولى دفعات الوقود.	إذا أنشئت هذه المحطة في أراك، وهي محطة يفترض أنها ستعمل بنظام الوقود على دفعات وتتعامل ببضعة كيلوجرامات من الوقود المشعّع، فمن المحتمل جداً ألا يكون للهجوم عليها أثر كبير، إلا بعد أن تبدأ عملية إعادة معالجة الدفعة، حيث سيمتدّ التلوث حينذاك باتجاه الريح، ويمكن أن تكون العواقب الصحية الطويلة الأمد (مدى الحياة) بالغة الأثر.
منشأة التخصيب في	العمل متواصل: والواضح أن منشآت	أضرار إنشائية تصيب حجرات الطرد المركزي تحت الأرض، وتؤدي إلى انقطاع إمدادات الطاقة.

نتنز	التخصيب فيها موجودة تحت الأرض ومدفونة عميقاً في مكان حصين. ولكن لا يُعتقد أن تشغيلها سيتجاوز المرحلة التجريبية الأولية.	وحدوث التلوّث باليورانيوم وخطر التسمم العام المرتبط باليورانيوم، وبالأخص، انتشار سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) في الجو وتفاعله إلى فلوريد اليورانيل (UO_2F_2) وفلوريد الهيدروجين (HF). أما الآثار الإشعاعية فستقتصر على العمال والسكان المحليين الموجودين قريباً جداً من مكان انتشار اليورانيوم وانبعاث سادس فلوريد اليورانيوم والتلوث الذي يحدث.
محطة سادس فلوريد اليورانيوم في أصفهان	العمل متواصل: محطة تحويل سادس فلوريد اليورانيوم مشتغلة؛ وهي المورد البشري الرئيسي في برنامج إيران النووي.	انقطاع في تحويل سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6)؛ خطر التلوث باليورانيوم والتسمم العام المرتبط باليورانيوم، وبالأخص انتشار سادس فلوريد اليورانيوم في الجوّ وتفاعله إلى فلوريد اليورانيل (UO_2F_2) وفلوريد الهيدروجين (HF). ومن المحتمل أيضاً تسرّب مصادر إشعاعية أخرى في أصفهان. وقد يكون للضربة العسكرية أثر جسيم على الموارد العلمية والهندسية البشرية.

1. قامت الولايات المتحدة الأمريكية بتطوير الأسلحة النووية في أربعينيات القرن العشرين، واستخدمتها أول مرة كرد استراتيجي عنيف ضد اليابانيين في هيروشيما وناجازاكي في آب/ أغسطس 1945. أما الاتحاد السوفيتي فاستهل برنامج قنبلته النووية بعد وقت قصير من توقف الأعمال العدائية في الحرب العالمية الثانية، ليفجر قنبلته الذرية الأولى في آب/ أغسطس 1949. وتلتهما بريطانيا بأول تجربة ذرية لها عام 1952 (تبعتها فرنسا عام 1960، والصين عام 1964). وامتد انتشار الأسلحة النووية ليصل إلى الهند التي أجرت تفجيرها النووي "السلمي" عام 1974، ثم باكستان عام 1998، وآخرها كوريا الشمالية عام 2006. وقد ساد اعتقاد أن جنوب أفريقيا ستغدو دولة ذات قدرة نووية، وأنها قد تكون أجرت تجربة سلاح نووي مشتركة مع إسرائيل في سبعينيات القرن الماضي. لكن جنوب أفريقيا فككت رؤوسها الحربية النووية عام 1990.

2. للاطلاع على شرح لأهم المصطلحات التخصصية، يرجى مطالعة الملحق الثاني: مسرَد المصطلحات النووية.

3. بسبب عمر النصف الإشعاعي الطويل للبلوتونيوم وهو 24300 سنة، يبقى خطره قائماً نحو نصف مليون سنة. وبعكس المخاطر الكيميائية والبيولوجية، يستحيل بشكل أساسي القضاء على البلوتونيوم (إلا بالتشعيع في مفاعل وَلود سريع fast-breeder). والخطر الرئيسي الناجم من البلوتونيوم يأتي من جسيمات ألفا المنبعثة من انحلاله الإشعاعي البطيء والثابت. وتتسبب الصفات الفيزيائية المشتركة لجسيمات ألفا (الكتلة الضخمة، والقطر العريض، والشحنة الموجبة المضاعفة) التي تنبعث من البلوتونيوم في انطلاق كميات كبيرة من الطاقة تنفذ من جسيمات ألفا إلى النسج الحية حين تخترق هذه الجسيمات جسم الإنسان أو الحيوان، وإلى أن يمتصها الجسم. وبشكل نموذجي، هناك ما يزيد على 100 ألف تأين للذرات والجزيئات molecules يمكن أن يكون سببَها جسيمُ ألفا واحد. ويمتص كل واحد من هذه التأينات نحو 35 إلكترون فولط (eV) من الطاقة من جسيم ألفا، وينتج عن ذلك تحرر إلكترونات من بعض الجزيئات في النسج الحية مخلّفة وراءها ذرات موجبة الشحنة (تسمى الجذور radicals). وتسبب هذه العملية تغيرات في البنية الكيميائية للمنطقة التي حدثت فيها التأينات. وبسبب هذا الإشعاع المؤيِّن ستموت الخلايا التي تبعد نحو 10 ميكرونات عن جسيم ثاني أكسيد البلوتونيوم. أما الخلايا التي تبعد 10–50 ميكروناً

فمن المحتمل أن تتعرض عناصرها الوراثية للتغيّر. وهذه الخلايا المتغيرة تعدّ خلايا سرطانية محتملة. كما يمكن للخلايا التي لم يقض الإشعاع عليها أن تشهد نهايات متباينة، وهذا يعتمد على مدى نجاح الحمض الريبي المنقوص الأكسجين (الدنا DNA) أو فشله في إصلاح الضرر، وعلى نوع الخلايا التي تأثرت. ومن المحتمل أن تصبح الخلايا سرطانية، فتضعف مقاومة الجسم للعدوى، كإصابة العقد اللمفاوية مثلاً، أو الجهاز التناسلي؛ أو تحدث تشوهات خَلقية. وتقوم جسيمات ألفا التي تصدرها ذرات البلوتونيوم المستقرة في العظام، وبخاصة في مناطق السمحاق والسمحاق الباطن والترابيق trabeculae، بمهاجمة النسج المكوّنة للدم في نقي العظم ذات الحساسية الشديدة للإشعاع، ما يخفض عدد كريات الدم الحمراء ويتسبب بتأثيرات خطيرة في الجسم.

4. انظر:

John Large, *Transportation of Nuclear Weapons through Urban Areas in the United Kingdom*, National Steering Committee of Nuclear Free Local Authorities, Manchester, United Kingdom, January 1990.

5. تعتمد كافة تقنيات تخصيب اليورانيوم تلك على الحقيقة الفيزيائية التي تفيد بأن سرعات الجزيئات المختلفة الكتلة تتباين، وبأن الفارق الضئيل بين اليورانيوم-235 واليورانيوم-238 يجعل اليورانيوم-235 أسرع قليلاً، ويمنحه طاقة حركية تؤدي بالتالي إلى إحداث الضغط. ويستخدم هذا التشخيص للتمييز بين الجزيئات وفصلها؛ إما بنشر هذه الجزيئات بتمريرها عبر غشاء الانتشار diffusion، أو بقطف skimming الطبقة الخارجية لمزيج يدور بسرعة كبيرة (بتقنية الطرد المركزي أو الدوامة؛ لكن الاستخدام التجاري للدوامة قد بَطل الآن نظراً للطاقة العالية التي تستهلكها)، أو باستهداف الجزيئات ذات السرعة العالية لنفث قوي. ولأن حصيلة التخصيب الناتجة من عملية فصل واحدة ضئيلة جداً، فلابد من وجود عدد كبير جداً من عمليات الفصل (مئات وآلاف). وهكذا يصبح من الضروري أن تكون مساحة محطات التخصيب الأساسي معادلة لما يزيد على مساحة عشرة ملاعب كرة قدم، وهذا يتطلب بدوره أن تكون مراحل الفصل متعاقبة، وأن يمرّ في كل جهاز فصل ما يقرب من نصف غاز التغذية [سادس فلوريد اليورانيوم] المخصب تخصيباً خفيفاً عند هذه المرحلة، لينتقل إلى المرحلة التي بعدها لزيادة التخصيب، وهلمّ جراً إلى آخر الدورة. أما الغاز الذي لا يعبر مرحلة ما، كأن يكون مستنفَداً قليلاً، فيعاد إلى المرحلة التي قبلها ليعيد الكَرّة. وتوضع عند كل مرحلة تعاقبية ضواغط ومبادلات

حرارية بهدف المحافظة على شروط الحرارة والضغط اللازمين، وكل منها عمليات شديدة النهم للطاقة.

6. يتعرض في أثناء المراحل مقدار ضئيل من خام التغذية إلى حلمأة hydrolysis (تحلّل بالماء) مشكلاً مركّب فلوريد اليورانيل الصلب، الذي يستنفد التخصيب. وبالمثل، يتحول بعض سادس فلوريد اليورانيوم إلى خامس فلوريد اليورانيوم (بخسارة ذرة واحدة من غاز الفلور)، ما يستنفد التخصيب مرة أخرى، وبخاصة في المراحل العليا. كما تخضع كمية ضئيلة من خام التغذية لعملية امتزاز adsorption تظهر على شكل ترسّب لسادس فلوريد اليورانيوم على أسطح الأوعية وأنابيب التوصيل. وإن تكن هذه الكمية المترسبة صغيرة بالنسبة للوحدة، لكنها تمثّل في العموم فاقداً بارزاً لأن آلاف المراحل التي تعمل بها المحطة تتكون من عدد من الكيلومترات المربعة من الأسطح المعرّضة لهذه العملية.

7. هناك أسلوبان لتسهيل عملية تخصيب اليورانيوم، وهما **الامتطاط** stretching **وإعادة التدوير (التكرير)** recycling، وكلتا الوسيلتين تجزئ العملية المتصلة في العادة إلى دفعات. وفي أسلوب **الامتطاط**، يتم "منع" التدفق المتعاقب من خلال خفض الضغط التفاضلي طوال المرحلة المعنية، ما يؤدي إلى زيادة سوية التخصيب في كل مرحلة، لكنه يخفض معدل التدفق أيضاً، ما يطيل الزمن الكلي لدورة المعالجة اللازمة للحصول على كميات ضئيلة جداً من الناتج المخصب. أما في **إعادة التدوير** فتتم إعادة إدخال نواتج التعاقبات العديدة في مرحلة تعاقبية واحدة على أنها خام تغذية. ولكن هذه العملية تستغرق أيضاً زمناً طويلاً، ويمكن أن تسبب مشكلات تتعلق بالحرجية criticality.

8. قد لا تكون كرة تامة بالضرورة، لأن تصاميم الرؤوس الحربية الحديثة تشتمل على حفرة انشطارية مفلطحة غير كروية.

9. في مفاعل وقوده اليورانيوم، يتم أسر بعض النيوترونات (30-40٪ من النيوترونات الناتجة من انشطار اليورانيوم-235) في اليورانيوم-238 لينتج اليورانيوم-239 الذي يصبح بلوتونيوم-239 بعد سلسلة قصيرة من الانحلال. وفي مفاعل يحتوي كمية وافرة من المادة الخصبة؛ وهو المفاعل الذي وقوده اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المخصب تخصيباً خفيفاً؛ يعوّض تكوّن البلوتونيوم-239 الانشطاري الجديد استحراق الوقود الأصلي. وينتج من هذه العملية المتبادلة بين نظائر اليورانيوم

وانشطار البلوتونيـوم علاقـة أسّـيّة exponential تتعلـق بـانحلال اليورانيـوم-235 وتزايد البلوتونيوم-239 عـلى التـوالي في قلـب المفاعـل وعـلى مـرّ الـزمن. وبـشكل أساسي، يصل محتوى البلوتونيوم-239 إلى درجة التشبّع، أما محتوى اليورانيوم-235 فيواصل انخفاضه وصولاً إلى المستوى الذي يحتاج المفاعل فيه إلى التزوّد بالوقود من جديد حفاظاً على الحرجية. ويمكن قياس الانشطارات التي تظهر في المفاعل بـشكل غير مباشر من الحرارة الناتجة من المفاعل، وذلك تبعاً لمكان الوقود في قلب المفاعل.

ومادامت المواد الانشطارية والخصبة (اليورانيوم-235 واليورانيـوم-238) في قلـب المفاعل، يقوم أي مفاعل كان بإنتاج نـسبة مـن البلوتونيـوم تكـون متكاملـة ضـمن مصفوفة matrix الوقود. وبما أن البلوتونيوم-239 هو مادة انشطارية، فـما إن يـستقر حتى يصبح عرضة للانشطار أيضاً. وهكذا، إذا توافرت الشروط المناسبة فـسيتحول البلوتونيوم-239 أيضاً إلى البلوتونيوم-240 الذي سيكون جاهزاً بالتـالي للانـشطار إلى البلوتونيوم-241 والبلوتونيوم-242. وبشكل أساسي، تـصل الزيـادة التراكميـة للبلوتونيوم-239 إلى نقطة التشبع مع تزايد معدل انشطار البلوتونيوم-239، ويكون ذلك مترافقاً مع محتوى أوفر من نظائر البلوتونيوم الأخرى، بيد أن اليورانيـوم-235 يتناقص وصولاً إلى مستوى يحتاج المفاعل فيه إلى التزوّد بالوقود مـن جديـد حفاظـاً على الحرجية.

ولأن نظيري البلوتونيوم (240-242) العاليين ليـسا مرغـوبين في صـناعة الأسـلحة النووية (لأنهما يمتصان النيوترونـات؛ ويتـسببان بانفجـار سـابق لأوانـه أو ينتجـان منتجات انحلال تعدّ مصدراً قوياً لأشعة غاما، أو كلا الأمرين معاً) فلابـد مـن منـع حصول الانشطار التالي للبلوتونيوم-239؛ إما بإزالة الوقـود المنتِج للبلوتونيـوم (أو عناصر دثار المفاعل) من المفاعل عند حدوث استحراق منخفض جداً، أو بالحدّ مـن نافذة امتصاص النيوترونات للبلوتونيوم-239 من خـلال الـتحكم بحـرارة مهـدّئ المفاعل، أو بكلتا الطريقتين معاً. ومن بين مواصفات المفاعل الذي يمكنـه المـساعدة في إنتاج البلوتونيوم من الدرجة الصالحة للأسـلحة النوويـة وجـود منـشآت لإزالـة الوقود المشعّع الذي استحرق لفترة قصيرة بينما يكون المفاعل مشتغلاً (وهو ما يعرف باسم التزويد بالوقود في أثنـاء تـشغيل المفاعـل on-load refueling)؛ حيـث يكـون قلب المفاعل مغلفاً بشحنة خصبة من دثار اليورانيوم-238 أو أن الوقود يتكـوّن مـن اليورانيوم-235 الطبيعي أو قليل التخصيب، أو بكلا الأمرين معاً؛ وتكـون الحـرارة في المفاعل المهدّأ بالجرافيت منخفضة نسبياً. وتكون معدلات تـشعيع الوقـود المثاليـة

اللازمة لإنتاج البلوتونيوم منخفضة جداً، عند نحو 200–250 ميجاواطاً في اليوم/ طن. وللحدّ من تحول الطيف النيوتروني الحراري للبلوتونيوم–239، تتم المحافظة على درجة الحرارة في منطقة المهدئ الخارجية بين 150 و300 درجة مئوية، برغم أن ذلك يجعل المفاعلات المهدأة بالجرافيت تخزن كميات كبيرة من طاقة ويجنر Wigner في قلب المهدئ الجرافيتي.

10. لا يحتوي البلوتونيوم المستعمل في الرؤوس الحربية النووية على البلوتونيوم–239 بنسبة 100٪ لكنه يتضمن نظائر بلوتونيوم أخرى، منها البلوتونيوم–240 والبلوتونيوم–241. كما يخلَط البلوتونيوم بمقادير ضئيلة من المعادن الأخرى، الغاليوم عادة، لتسهيل التصنيع الآلي، ويشتمل على مقادير ضئيلة أيضاً من الشوائب (أهمها اليورانيوم) التي لم تتم إزالتها في أثناء إعادة معالجة الوقود المشعّع. ويعدّ البلوتونيوم–240 أكثر نشاطاً إشعاعياً من البلوتونيوم–239 وكتلته الحرجة أعلى لأنه قابل للانشطار بالنيوترونات السريعة كسائر نظائر البلوتونيوم الأخرى. أما البلوتونيوم–238 فهو مادة غير مرغوب فيها لارتفاع معدل الحرارة الناتجة.

11. لتحقيق أول تلك الأهداف، تتراوح الفترة المثالية لتوليد البلوتونيوم في قلب مفاعل كهرنووي منخفض الطاقة نسبياً بين 4 و8 أشهر، أو أقل أحياناً. وسيكون هناك إضاعة للكثير من الوقت إذا اضطر الأمر إلى إيقاف المفاعل للتفكيك عند هذه المرحلة. ولهذا السبب لا تعدّ مفاعلات الماء الخفيف الضخمة العالية الطاقة (مفاعلات الماء المضغوط PWR ومفاعلات الماء المغلي BWR) مناسبة لإنتاج البلوتونيوم، لأن هذه الأنواع من المفاعلات تتطلب 6–8 أسابيع لإيقاف المفاعل وتفكيكه جزئياً عند كل توقّف لإعادة التزود بالوقود.

12. تعدّ محطات إعادة المعالجة التجارية أو المدنية منشآت بالغة الضخامة، كمفاعل ماجنوكس Magnox ومحطة ثورب لإعادة الأكسدة الحرارية THORP اللذين تشغلهما شركة الوقود النووي البريطانية (BNFL) في سيلافيلد بالمملكة المتحدة. لكن هذه المحطات لا تعتمد على مدى النجاح الذي تحققه، ومن الممكن أيضاً الحصول على ما يكفي من الفصل الكيميائي الفاعل من محطات صغيرة. كما يمكننا قياس مدى إعادة المعالجة للمحطات بمقارنة الوقود المستهلك الناتج من محطة ماجنوكس التابعة لشركة الوقود النووي البريطانية في سيلافيلد والبالغ 1500 طن/ السنة ومحطة ثورب 1200 طن/ السنة، مع محطة ترومباي Trombay، مثلاً، في

الهند البالغة 30 طناً في السنة، وبوحدة إزيزا Ezeiza الصناعية التجريبية في الأرجنتين البالغة 5 أطنان/ السنة.

13. من الممكن جداً أن يتفجر رأس حربي نووي من نوع الانفجار الداخلي implosion بنجاح إذا كانت حفرته من البلوتونيوم الصالح للاستعمال في المفاعلات. أما الهندسة الخاصة بسلاح ترينيتي Trinity الذي فجرته الولايات المتحدة الأمريكية في تجربتها عام 1945 فمعناها أن هذا السلاح كان قابلاً للتفجر بحفرة انشطارية مصنعة في بلوتونيوم المرحلة دلتا delta-phase الصالح للاستعمال في المفاعلات. وقد أفاد أيضاً السيد هانز بليكس، المدير العام السابق للوكالة الدولية للطاقة الذرية بأنه «استناداً إلى النصيحة التي تلقتها الوكالة من الدول الأعضاء فيها ومن الفريق الاستشاري الدائم لتطبيق الضمانات (SAGSI)، تعدّ الوكالة البلوتونيوم العالي الاستحراق "الصالح للمفاعلات"، وبشكل عام البلوتونيوم من أي تركيب نظيري كان، باستثناء البلوتونيوم الحاوي أكثر من 80٪ من البلوتونيوم-238، قابلاً للاستعمال في متفجرة نووية. وليس ثمة جدل حول هذه المسألة داخل قسم الضمانات في الوكالة». انظر الرسالة التي وجهها هانز بليكس، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية، إلى بول ليفينثال، معهد المراقبة النووية (NCI)، 1 تشرين الثاني/ نوفمبر 1990.

14. تشمل العملية المعدنية النهائية للبلوتونيوم عدداً من العمليات بما فيها ترسيب بيركسيد (فوق أكسيد) البلوتونيوم، وتحويله إلى رابع فلوريد البلوتونيوم بوساطة فلوريد الهيدروجين اللامائي، مع إضافة الكالسيوم واليود من أجل التحويل إلى أزرار (كبسولات) معدنية يتم تحليلها في حمض الآزوت nitric acid الممدّد لإزالة الخَبَث slag منها [الخَبَث هو مجموعة الأكاسيد المعدنية غير المرغوبة التي تتجمع أثناء السبك]. وبعد ذلك يتم صب الأزرار في كتل من سبيكة الغاليوم بطريقة الجاذبية (الثقالة)، أو تحويلها إلى أشكال ما قبل التصنيع (أنصاف كرات) في قوالب تدور بسرعة كبيرة. ليتم بعدها تصنيع مكونات الحفرة النهائية (نصفي كرة) بدقة بالغة بطريقة القطع (القص)؛ وسفع blasting الكريات أو تفاعل الاختزال (الإرجاع) بوساطة التحليل الكهربائي، أو بالسفع والتحليل معاً، إلى أن تصبح المكونات النهائية ذات سطح مطلي لمنع التأكسد. وباستخدام عمليات مماثلة، يتم تشكيل مكونات اليورانيوم المعدنية الخاصة بالرأس الحربي النووي وإنهاؤها.

15. يشار إليها بشكل أدقّ "معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، عام 1968".

16. في المفاعلات المصممة لتوليد الطاقة الكهربائية وتوليد البلوتونيوم، قد يكون القلب مقسوماً إلى منطقتين، قسم داخلي مزود بالوقود للطاقة، ودثار خارجي يحتوي المادة الخصبة؛ وهذه هي الطريقة يتم بها ضبط إعدادات بعض مفاعلات البحوث التي تستعمل قلوباً وقودية من اليورانيوم المخصب. وتنتشر النيوترونات الناتجة من الانشطار في الدثار، ويقوم اليورانيوم-238 بأسرها منتجاً بذلك البلوتونيوم-239 الذي يمكن استخلاصه أو شطره أيضاً في المكان نفسه إذا دعت الحاجة إلى ذلك. ولابد من التقليل من الأسر النيوتروني في المهدّئ ومواد القلب الهيكلية ومن تسرّب النيوترونات من القلب إلى أدنى حدّ ممكن للمحافظة على معدل توليد عال. وللقلوب المهدأة بالجرافيت والماء الثقيل مقطع عرضي منخفض الأسر، ما يجعل امتصاص النيوترونات منخفضاً، أما القلوب المهدأة بالماء (الخفيف)، كما هي الحال في مفاعلات الماء المضغوط، فلها مقطع عرضي عالي الأسر يخفض معدل التوليد، بالإضافة إلى أن مصاعب ترتيبات إعادة تزويد مفاعلات الماء المضغوط بالوقود في أثناء التشغيل، يعزز الرغبة في عدم استخدام تصاميم مفاعلات الماء المضغوط أو الماء المغلي لأداء دور القدرة المزدوجة.

17. يبدو أن باكستان نسخت التصاميم الأصلية لوحدات الطرد المركزي يورينكو Urinco P-1/P-2 في سبعينيات القرن الماضي لصالح برنامجها الخاص بالتخصيب.

18. انظر:

G. Kampani, *Proliferation Unbound: Nuclear Tales from Pakistan*, Center for Nonproliferation Studies, February 2004.

19. انظر:

John Simpson, et al., *Iran's Nuclear Program: Realities and Repercussions*, Emirates Center for Strategic Studies and Research (ECSSR), 2006.

20. قيّمت شركة كرافتفيرك إمكانية إعادة محطتي بوشهر النوويتين إلى الوضع الطبيعي وإنجازهما لتكونا جاهزتين عام 1984، لكن العمل عاد في آذار/ مارس 1984 من حيث بدأ، بسبب السلسلة الأولى من الضربات الجوية التي شنها العراق عليهما.

21. تم تسلم اليورانيوم الفرنسي المنخفض التخصيب وفق معاهدة يوروديف EURODIF (الكونسورتيوم الأوربي لتخصيب اليورانيوم بالانتشار الغازي).

22. على أساس الملحق الأول والمعلومات الإضافية المأخوذة من تطبيق ضمانات معاهدة عدم الانتشار النووي في الجمهورية الإسلامية الإيرانية، تقرير المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية، IAEA Gov/2004/83، تشرين الثاني/ نوفمبر 2004.

23. الولايات المتحدة هي من زود إيران بمفاعل بحوث الماء الخفيف، نوع الحوض، الذي وقوده اليورانيوم العالي التخصيب (93٪) خلال الفترة 1967-1968. لكن معهد البحوث التطبيقية الأرجنتيني هو من عدّل هذا المفاعل فيما بعد ليشتغل بوقود اليورانيوم-235 المخصب بنسبة 20٪، وقامت الأرجنتين عام 1987 بتزويد إيران بكمية 115.8 كيلوجراماً من وقود اليورانيوم لأجله.

24. تم توقيع اتفاقية تحدد تاريخ إمداد محطة بوشهر الكهرنووية بالوقود وإعدادها للتشغيل في 26 أيلول/ سبتمبر 2006 أو نحوه. ومن المقرر أن يبدأ تزويد إيران بالوقود غير المشعّع في آذار/ مارس 2007، على أن يبدأ إعداد المحطة للتشغيل في أيلول/ سبتمبر 2007، وذلك على أمل أن يتم أول توليد للكهرباء في تشرين الثاني/ نوفمبر 2007.

25. حين يكون المفاعل مشتغلاً، مع الأخذ بعين الاعتبار أنه من المتوقع أن يصل مخزون قلب مفاعل محطة بوشهر النووية من النويدات المشعة القصيرة الأجل والمؤقتة، في نحو ثلاث سنوات من التشغيل الكامل، إلى 18200.10 بيكريل تقريباً، أو 200 مليون تيرا بيكريل.

26. انظر:

M. Ghannadi-Maragheh, "Iranian Nuclear Fuel Cycle Experience," World Nuclear Association Annual Symposium, 2003.

27. من المتوقع أن يتوافر لدى مفاعل سقند Saghand احتياطي يبلغ 1,600,000 طن من خام اليورانيوم الحاوي نحو 225 جزءاً من مليون جزء من اليورانيوم. والهدف المرسوم للإنتاج هو 120 ألف طن سنوياً من الخام الذي يُستخلص اليورانيوم منه بطريقة الغسل والتحويل إلى عجينة بوساطة الحمض. ويسود اعتقاد أن هذه الكميات أضحت متوافرة الآن من خلال الاستخراج غير المعلن للخام، لكن معدل الاستخلاص مجهول.

28. انظر: IAEA, GOV/2003/9, November 2003.

29. مع أن محطة تخصيب نتنز التجريبية قادرة على تشغيل 164 تعاقباً من الوحدات، وبإجمالي يبلغ نحو 1000 وحدة، ليس هناك ما يؤكد توصّل إيران إلى تعاقب يضم أكثر من 19 وحدة في هذه المحطة. وسيكون لمحطة تخصيب الوقود الضخمة المتوقعة في نتنز القدرة على تشغيل 30–50 ألف وحدة، مع أن الخطة الآن تبدو مقتصرة على تركيب مجموعات من التعاقبات تتألف من 3000 وحدة؛ علماً بأن كل تعاقب 3000 وحدة تمت تهيئته لتخصيب اليورانيوم عالياً قد ينتج نحو 20 كلغ سنوياً أو ما يكفي لتزويد المكونات الانشطارية اللازمة لصنع رأس حربي نووي من النوع المدفعي. أما الشركات الإيرانية التي تقوم بشراء وحدات الطرد المركزي والتجهيزات المتعلقة بها فهي شركة بارس تراش Pars Trash Company، وفاراياند للتقنيات Farayand Technique، وكلتاهما تعمل وفق توجيهات مؤسسة الصناعات الدفاعية.

30. يُستعمل الماء الثقيل كمهدئ في المفاعلات التي وقودها اليورانيوم الطبيعي. والغاية من المهدئ تهدئة النيوترونات أو إبطاء سرعتها لتحسين معدل الانشطار. ويمكن تحقيق ذلك بالماء الخفيف (العادي) لكن مقابل التضحية بعنصر البروتيوم protium [الهيدروجين الخفيف، نظير الهيدروجين العادي، كتلته الذرية تساوي 1] في الماء الذي يمتص النيوترونات، لذلك ثمة حاجة في المفاعلات المهدّأة بالماء الخفيف (كمفاعل الماء المضغوط مثلاً) إلى زيادة تخصيب نظير اليورانيوم–235 الانشطاري في وقود اليورانيوم للتعويض عن هذا الامتصاص غير المرغوب (بنسبة تزيد على 2–5٪ من اليورانيوم–235 على نسبة الـ 0.7٪ من اليورانيوم–235 الموجودة في اليورانيوم الطبيعي). أما الماء الثقيل أو الديتريوم، ومع أنهما يتطلبان مزيداً من التصادمات وبالتالي المزيد من كمية الوسط المهدئ، فيبطئان النيوترونات بأقل قدر من خطر تعرضها للأسر. أما القدر الأقل من الأسر فيعني أنه بالإمكان تزويد مفاعل مهدّأ بالديتريوم، على شكل ماء ثقيل، بوقود من اليورانيوم الطبيعي.

31. تقول السلطات الإيرانية إنها ستستعمل مفاعل ماء ثقيل لتلبية احتياجات إيران من منتجات النظائر المشعة. ويجب أن يتراوح دفق النيوترونات في مثل هذا المفاعل بين 1310 و1410 نيوترونات/ سم^2/ ثانية، على أساس طاقة تعادل 30–40 ميجاواطاً حرارياً بالترتيب عند استخدام وقود ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) الطبيعي المغلف بالزركونيوم والمنتج في أصفهان. هناك ارتباط وثيق بين حصيلة الديتريوم التي سيتم إنتاجها في محطة أراك وإعداد المفاعل IR-40 للتشغيل؛ حيث سيحتاج تشغيل مفاعل أراك IR-40 إلى شحنة أولية من الديتريوم قدرها 80–90 طناً، وبعد ذلك إلى إعادة تموين يصل إلى 8 أطنان من أكسيد الديتريوم D_2O سنوياً. وهكذا نجد أن التاريخ

المتوقع لإعداد مفاعل IR-40 للتشغيل، 2010 - 2012، يعتمد على مدى محافظة محطة الماء الثقيل على قدرتها الإنتاجية العالية بثبات.

32. وذلك بالمقارنة مع استحراق 33 – 55 جيجاواطاً في اليوم/ طن يورانيوم يتم تحقيقه في مفاعلات الماء الخفيف، كمفاعل الماء المضغوط مثلاً الذي يستعمل وقوداً منخفض التخصيب (يورانيوم-235 تصل إلى نسبة تخصيبه إلى 3.5٪).

33. إمكانية أن تستخدم إيران مفاعل IR-40 وأن تطوّر عملية فصل البلوتونيوم في أراك ما هي إلا محض تخمين يفترض أن إيران تسعى حالياً إلى تطوير برنامج رؤوس حربية نووية قلبها من البلوتونيوم، وبفرض أنها لن تكفّ عن سعيها هذا.

34. لا أحد يعلم ما التعريف الذي تتبناه إيران للنفايات الإشعاعية ذات المستوى المنخفض والمتوسط، وذلك برغم أن تعريف النشاط الاعتيادي للمستوى المنخفض (LLW) يتم حسابه على أساس 12 جيجا بيكريل/ م^3 بالنسبة للنفايات التي تحتوي على أشعة بيتا غاما $\beta\gamma$ و4 جيجا بيكريل/ م^3 للنفايات الحاوية أشعة ألفا α.

35. انظر:

M. Ghannadi-Maragheh, op. cit., *Iranian Nuclear Fuel Cycle Experience.*

36. Ibid.

37. انظر:

IAEA, *Improvements of Radioactive Waste Management at WWER Nuclear Power Plant,* IAEA-TECDOC-1492, April 2006.

38. حدود الشحنة وضعتها الهيئة التنظيمية النووية الإيرانية (INRA).

39. سيبلغ معدل الإنتاج السنوي الإجمالي من النفايات المشعة في محطة بوشهر الكهرنووية نحو 750 م^3. وهي تتكون من 363 م^3 من النفايات الصلبة الرطبة (منها نحو 12 م^3 متوسطة السوية الإشعاعية)، و380 م^3 من النفايات الصلبة الجافة الأولية (معظمها نفايات منخفضة السوية الإشعاعية). ولهذا السبب ستكون السعة التخزينية للنفايات النووية في مفاعل بوشهر محدودة جداً لكل النفايات، السائلة: 5 خزانات سعة الواحد منها 70 م^3؛ والصلبة: 3 صوامع سعة الواحدة منها 35.5 م^3.

وبمجرد أن يتاح لسويات النفايات الإشعاعية أن تتحلل (حيثما أمكن ذلك) أو أن يتم ضغط حجم النفايات التي أغلبها منخفض السوية، أو كلا الأمرين معاً، يتم تخزين معظم تلك النفايات في براميل سعة الواحد منها 200 لتر في منطقة تخزين مؤقت في المحطة الكهرنووية.

40. نظراً لأن المفاعل المهدأ بالماء الثقيل الذي يجري إنشاؤه في أراك سيزوَّد بوقود من اليورانيوم الطبيعي (غير المخصّب)، فلن يكون بحاجة إلى أي كمية تنتجها محطة التخصيب في نتنز.

41. تضمّن ذلك تركيب مفاعل ماء مضغوط روسي في مباني المحطة الكهرنووية التي كادت شركة كرافتفيرك تنتهي من إنجازها في المجمع النووي. ويطلق على النسخة الروسية من مفاعل الماء المضغوط اسم مفاعل الطاقة المبرّد والمهدأ بالماء (WWER).

42. بعد المزيد من التقصي الذي قامت به الوكالة الدولية للطاقة الذرية، أقرت إيران أنها أجرت بين عامي 1998 و2002 بعض التجارب على وحدات الطرد المركزي في شركة كلاي للكهرباء باستخدام دفعة من سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) استوردتها عام 1991.

43. نظراً لأن المخاوف الدولية، التي كانت الولايات المتحدة الأمريكية أول من أثارها عام 2000 تقريباً، تتمثل في إمكانية أن يؤدي ذلك الأمر إلى امتلاك إيران لليورانيوم العالي التخصيب ومن ثم القدرة على تجميع السلاح النووي من النوع المدفعي. وحجة المدافعين عن هذا الخط من التفكير أنه ليس هناك أي مسوّغ اقتصادي يبرر رغبة إيران في امتلاك منشأة لتخصيب الوقود من أجل الوقود المدني وحده، ولاسيما أنه مازال عليها إعداد مفاعل نووي مدني للتشغيل، ثم تشغيله. ويضيفون أنه ليس هناك أيضاً ما يبرر سعي إيران إلى تطوير سلسلة من محطات توليد الطاقة الكهرنووية على مدى العقود الثلاثة المقبلة، أو سعيها لتصبح مزوّد الوقود النووي في المنطقة إذا ما شهدت الطاقة النووية تطوراً على نطاق أوسع.

44. انظر: IAEA, GOV/2006/14, February 2006.

45. البروتوكول الإضافي ليس إلزامياً، والقصد منه تعزيز ضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية القائمة وتوسعتها؛ للتأكد من أن الدول التي لا تمتلك أسلحة نووية الموقعة

على معاهدة عدم الانتشار النووي لا تستخدم المواد والمنشآت النووية إلا لأغراض سلمية. ويوسّع البروتوكول الإضافي قدرة الوكالة الدولية للطاقة الذرية على تفتيش المنشآت النووية السرية بتخويلها الصلاحية لزيارة أي منشأة؛ سواء أكانت معلنة أم غير معلنة، للتحقق من مسائل تتعلق بتناقضات محتملة في التصريحات النووية للدول، بما في ذلك الوصول إلى الأفراد، والوثائق المتعلقة بالمشتريات، والتجهيزات ذات الاستعمال المزدوج، وورش ومراكز بحوث وتطوير معينة ذات تبعية عسكرية، وذلك حسبما تراه الوكالة ضرورياً لدعم التحريات التي تجريها. وقد وقّعت إيران البروتوكول الإضافي عام 2003 لكنها لم تصادق عليه إطلاقاً. وقد أفادت الوكالة الدولية للطاقة الذرية أنه حتى حزيران/ يونيو 2004 وإيران تتصرّف وكأن البروتوكول كان ساري المفعول بالكامل. لكن مع حلول شباط/ فبراير 2006، رأت الوكالة أنه من الضروري أن تقوم إيران (انظر IAEA, GOV/2006/14) بالتصديق فوراً على البروتوكول الإضافي، وأن تضعه موضع التطبيق، وهو ما لم تنفّذه إيران قطّ.

46. انظر:

Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran, Resolution by the Governors, IAEA, GOV/2005/77, September, 2005.

47. أُعدّت محطة الماء الثقيل في أراك للتشغيل أواسط عام 2006، ومن المتوقع أن تنتج كميات كافية من الماء المهدئ الثقيل لصالح مفاعل IR-40 القادر على إنتاج البلوتونيوم الذي يُشاد الآن والمتوقع إعداده للتشغيل خلال الفترة 2010-2012 في أراك أيضاً.

48. أجرت إيران بين عامي 1988 و1993 تجارب لفصل البلوتونيوم في مركز طهران للبحوث النووية مستعملة فيها أهدافاً من ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) المستنفد، ولكنها لم تبلغ الوكالة الدولية للطاقة الذرية بها إلا عام 2003. وتقول إيران إنها قامت بتشعيع ما يصل إلى 7 كيلوجرامات من ثاني أكسيد اليورانيوم وعالجت 3 كيلوجرامات منها لفصل البلوتونيوم، وأن الكمية الضئيلة من البلوتونيوم المفصول خُزنت في أحد مختبرات جابر بن حيان المعملية المتعددة الاستعمالات؛ أما الـ 4 كيلوجرامات المتبقية من أهداف ثاني أكسيد اليورانيوم المشعّعة غير المعالجة فقد وُضعت في حاويات وخُزنت في مركز طهران للبحوث النووية، وتم التخلص من النفايات في سبخة قم Qom. وقالت الوكالة الدولية للطاقة الذرية إن إيران أجرت

عمليتي الاستخلاص والفصل لنحو 100 ملغ من البلوتونيوم، لكن إيران أشارت في معرض ردها المتأخر نوعاً ما إلى كمية أقل من ذلك بكثير (بالميكروجرامات)، لتعود وتؤكد فيما بعد أن كمية الـ100 ملج فيها شيء من الصحة.

49. وفقاً للوكالة الدولية للطاقة الذرية، استخلصت إيران بين عامي 1989 و1993 نظير البلوتونيوم–210 الغني بإشعاع ألفا من أهداف بزموت bismuth مشعّعة ادعت إيران بأن الغاية منها تطوير بطاريات كهرحرارية، لكن مبعث قلق الوكالة الدولية للطاقة الذرية هو الاستخدام الآخر المحتمل للبلوتونيوم كبادئ نيوترونات للمرحلة الأولى من سلسلة التفجير النووي بعد مفاعلته مع البريليوم.

50. انظر:

Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran, Report by the Director General, IAEA, GOV/2006/27, April, 2006.

51. انظر الحاشية 48 أعلاه.

52. لا يوجد حتى الآن دليل علني يؤكد الجهة التي حصلت إيران منها على مكوّنات الطرد المركزي. أما القول إن إيران هي التي صنعت مكونات الطرد المركزي الخاصة بها، حسبما قدّرته الوكالة الدولية للطاقة الذرية في تصريحها في 13 آذار/ مارس 2004 **"حول تنفيذ الجمهورية الإسلامية الإيرانية لاتفاقية الضمانات"**، فيشوبه قدر كبير من الشك. وثمة تسليم الآن بأن الشبهة يجب أن توجّه إلى شركة Scomi Precision Engineering SDN Berhad الهندسية الماليزية التي زودت البرنامج الليبي النووي بنحو 15٪ من مكونات الطرد المركزي. وقد أسدل الستار على نشاط التخصيب الليبي عام 2004 باتفاقية دولية. ومن المحتمل أن إيران تواجه منذ ذلك التاريخ صعوبات في الحصول على مكونات معينة لأجهزة الطرد المركزي الخاصة بها.

53. انظر:

Resolution 1737 (2006), UN Security Council 5612th Meeting (AM), December 23, 2006.

54. انظر:

Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran, IAEA, Gov/2006/27, op. cit.

55. Ibid.

56. ثمة أسباب عديدة تجعل من العسير تقدير ما ترمي إليه إيران من نواتج التخصيب والعدد الإجمالي من وحدات الطرد المركزي الفردية اللازمة لتحقيق ذلك. أما العام الذي تعتقد إيران أنها ستتمكن فيه من إيصال محطة تخصيب نتنز إلى مستوى الإنتاج المفيد فيشوبه قدر كبير من الغموض. وحين استأنفت إيران نشاطات التخصيب في كانون الثاني/ يناير 2006، ساد إجماع على أن إيران تمتلك نحو 700 وحدة طرد مركزي، وأنه سيكون لديها مع نهاية عام 2007 ما يقرب من 1600 وحدة طرد مركزي تعمل في تعاقبات من الحجم المطلوب؛ لكن المعلومات الاستخبارية التي تم تجميعها من تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية تفيد بأن تخصيب اليورانيوم إلى سوية عالية قد لا يتحقق قريباً، ربما ليس قبل عام 2009؛ أو إلى كميات تكفي لترسانة أسلحة نووية، ليس قبل عام 2011 إلى 2016؛ انظر على التوالي:
David Albright and Corey Hinderstein, "Iran, Player or Rogue," *Bulletin of Atomic Scientists*, Vol. 59, No 5; David Albright and Corey Hinderstein, *The Clock is Ticking*, Institute for Science and International Security, March 2006; and J. Cirincione, *No Military Options*, Carnegie Issue Brief, January 2006.

57. تحدّد استراتيجية الأمن القومي للولايات المتحدة الأمريكية (2002) خيارات الأعمال الوقائية والاستباقية لمجابهة الانتشار النووي التي تنصّ على أن الولايات المتحدة الأمريكية قد تضطر للانخراط في حروب دورية سعياً إلى تحقيق مثل هذه الاستراتيجية.

58. تستشهد استراتيجية الأمن القومي للولايات المتحدة الأمريكية (2006) بإيران تحديداً على أنها تؤوي الإرهابيين على أراضيها وترعى النشاطات الإرهابية في الخارج، كما تنصّ على أن إيران انتهكت ببرنامجها الخاص بالأسلحة النووية اتفاقية عدم الانتشار.

59. برغم عدم توافر التفاصيل المتعلقة بالتعديلات التي أجرتها روسيا على التصميم الأصلي للبناء والحاوية اللذين وضعتهما شركة كرافتفيرك-سيمنس، والذي يعود إلى سبعينيات القرن العشرين، لا ريب في أن تاريخ الحاويات والتصاميم الخاصة ببناء مجمع المفاعل يعود إلى ما قبل 11 سبتمبر 2001، مما يعني أنه من غير المحتمل أن تكون المحطة الكهرنووية منيعة تماماً ضد هجمة متمردين إرهابية مسلحة، أو هجوم عسكري. فعقب الهجمات الجوية التي حصلت في 11 سبتمبر 2001، ادّعت المحطات

النووية الجديدة أنها منيعة ضد ارتطام الطائرات، وأن هذه المنعة تعود إلى متانة هياكل الحاويات وإلى مبان تم وضعها "كبش فداء" عمداً أمام مباني السلامة النووية الرئيسية، وذلك برغم وجود دليل ضئيل يفيد بأنه تم تغيير تصاميم كرافتفيرك التي أعدت قبل 11 سبتمبر في هذا الصدد. انظر (ج. لارج، تقييم عناصر الخطر والمجازفة التشغيلية لمفاعل الماء المضغوط الأوربي EPR عند تعرضه لارتطام طائرة)، أيار/ مايو 2006:

John Large, *Demarche De Dimensionnement Des Ouvrages Epr Vis-À-Vis Du Risque Lie Aux Chutes D'avions Civils.*

أضف إلى ذلك أن تصميم شركة كرافتفيرك-سيمنس لمفاعل بوشهر مستمد من مفاعل الماء المضغوط في المحطة الكهرنووية في بيبليس Biblis بألمانيا، والذي من أجله أبقت الشركة الحاوية الرئيسية للمفاعل، وحوض الوقود، وأبنية قاعات التربينات. أما المفاعل الروسي، وهو نموذج معدّل لمفاعل ماء مضغوط مبرّد ومهدأ بالماء WWER-1000، فسيتم بكل معنى الكلمة حشر دارته الرئيسية المعقدة نوعاً ما في المباني القائمة، مع أنه تم توسيع حاوية المفاعل بعض الشيء كي تتسع لمولدات بخار المفاعل WWER-1000 الأربعة، مقارنة بمولدتين فقط يضمها التصميم الأصلي لمفاعل بيبليس.

60. شنت إسرائيل في مطلع حزيران/ يونيو 1981 هجوماً عسكرياً على مفاعل تموز Osirak (70 ميجاواطاً) المقدم من فرنسا والذي يقع في منطقة التويثة، حوالي 18 ميلاً [نحو 29 كلم] إلى الجنوب من بغداد. وبررت إسرائيل هجومها بأن المفاعل سيكون قادراً على إنتاج مواد انشطارية خاصة ببرنامج أسلحة نووية، وهذا ما أتى منسجماً مع إعلان الحكومة الإسرائيلية «لن نسمح تحت أي ظرف من الظروف لعدو ما أن يطور أسلحة دمار شامل ضد شعبنا». وحين نُفذ الهجوم، لم يكن المفاعل قد زُوّد بالوقود بعد، ولم تُكتشف أي انبعاثات إشعاعات هناك.

61. بعد نحو 3–4 سنوات من التشغيل الكامل لمحطة بوشهر الكهرنووية، وبأخذ النويدات المشعة ذات العمر النصفي بين القصير والمؤقت في الحسبان، يقدّر أن يصل مخزون قلب المفاعل حينها إلى نحو 200.10^{18} بيكريل، أو 200 مليون تيرا بيكريل TBq، لكن يجب ألا يتجاهل أحد العواقب الإشعاعية للنويدات القصيرة الأجل، كاليود المشع مثلاً، في السنوات الثلاث أو الأربع الأولى.

62. انظر:

An Assessment of the Radiological Consequences of Releases from Degraded Core Accidents for the Sizewell PWR, NRPB-R137, National Radiological Protection Board (UK), July 1982;

63. تم تصحيح هذه الوفيات المتوقعة (E) تصاعدياً على أساس عوامل المخاطرة وفق التوصيات التي قدمتها اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية في المطبوعة 60 (ICRP60). ويتفحص التحليل R137 مدى الاحتمالات من نحو 12 إلى 26,280 حالة وفاة (3-6,570 غير مصحّحة) و11,000-33,000 حالة وفاة (غير مصححة) على المدى الأبعد. وينطبق التحليل على المناطق الريفية في أغلبها وذات التشكيلة السكانية المتناثرة نسبياً على الساحل الجنوبي الشرقي لإنكلترا. وتراوحت أعداد السكان اللازم إخلاؤهم بين 480 (3100 متوقعين) إلى 420,000 شخص. أما مدى الاحتمالات فتقرره الحالة الجوية السائدة عقب الانبعاث الإشعاعي. فاستقرار الجوّ هو الذي يحدد مدى انتشار السحابة الفوقية وكثافتها، وترسب الملوثات المشعّة في الأرض. للاطلاع على واحد من أحدث التحليلات المتعلقة بالآثار الإشعاعية لحوادث المفاعلات، انظر:

John Large, *Assessments of the Radiological Consequences of Releases from Existing and Proposed EPR/PWR Nuclear Power Plants in France*, Greenpeace France, February 2007.

جون لارج: مهندس قانوني ومهندس استشاري، وزميل في معهد الهندسة الميكانيكية، وعضو خرّيج في معهد الهندسة المدنية، وعضو جمعية المهندسين النوويين البريطانية، وزميل في الجمعية الملكية للفنون. وكان منذ أواسط الستينيات وحتى أواخر الثمانينيات عضواً متفرغاً في الهيئة الأكاديمية بجامعة برونيل.

شارك مع هيئة الطاقة الذرية البريطانية (UKAEA) في بحوث تتعلق بالمنظومات النووية. وأسّس عام 1986 Large and Associates وهي مؤسسة متخصصة في ميادين التحليل والمخاطر النووية، وبالعمل معها أعد أدلة إلى محكمة حقوق الإنسان في ستراسبورج وعدد من لجان مجلس العموم المختارة في البرلمان البريطاني. كما قدم أدلة عن مخاطر الإرهاب النووي إلى حكومات ووكالات أجنبية، منها حكومات نيوزيلندة والاتحاد الروسي وفنلندة وبلغاريا، والهيئة التنظيمية النووية الأمريكية.

وعبر مؤسسة Large and Associates شارك محلياً ودولياً في عدد من مشروعات تقدير المخاطر والأضرار، بما فيها المسؤولية الكلية عن المفاعل النووي وتقدير مخاطر السلاح الناجمة من إنقاذ الغواصة المسيّرة نووياً "كورسك"، والإصلاحات الخاصة بالغواصة "تايرلس" التي تسير بالطاقة النووية في مضيق جبل طارق. وقد منحته السلطات الروسية وساماً تذكارياً تقديراً لمساهمته في إنقاذ كورسك.

قدم جون لارج تقارير حول الدول النامية في مجال الأسلحة النووية، ومنها عمله الشامل في تايوان، وقدم مؤخراً تقريراً عن برنامج الأسلحة النووية لكوريا الشمالية والبرنامج النووي الإيراني.

صدر من سلسلة
محاضرات الإمارات

1. بريطانيا والشرق الأوسط: نحو القرن الحادي والعشرين

مالكولم ريفكند

2. حركات الإسلام السياسي والمستقبل

د. رضوان السيد

3. اتفاقية الجات وآثارها على دول الخليج العربية

محمد سليم

4. إدارة الأزمات

د. محمد رشاد الحملاوي

5. السياسة الأمريكية في منطقة الخليج العربي

لينكولن بلومفيلد

6. المشكلة السكانية والسلم الدولي

د. عدنان السيد حسين

7. مسيرة السلام وطموحات إسرائيل في الخليج

د. محمد مصلح

8. التصور السياسي لدولة الحركات الإسلامية

خليل علي حيدر

9. الإعلام وحرب الخليج: رواية شاهد عيان

بيتر آرنيت

10. الشورى بين النص والتجربة التاريخية

د. رضوان السيد

11. مشكلات الأمن في الخليج العربي
منذ الانسحاب البريطاني إلى حرب الخليج الثانية

د. جمال زكريا قاسم

12. التجربة الديمقراطية في الأردن: واقعها ومستقبلها

هاني الحوراني

13. التعليم في القرن الحادي والعشرين

د. جيرزي فياتر

14. تأثير تكنولوجيا الفضاء والكومبيوتر على أجهزة الإعلام العربية

محمد عارف

15. التعليم ومشاركة الآباء بين علم النفس والسياسة

دانييل سافران

16. أمن الخليج وانعكاساته على دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

العقيد الركن/ محمد أحمد آل حامد

17. الإمارات العربية المتحدة «آفاق وتحديات»

نخبة من الباحثين

18. أمن منطقة الخليج العربي من منظور وطني

صاحب السمو الملكي الفريق أول ركن

خالد بن سلطان بن عبدالعزيز آل سعود

19. السياسة الأمريكية في الشرق الأوسط والصراع العربي ـ الإسرائيلي

د. شبلي تلحمي

20. العلاقات الفلسطينية ـ العربية من المنفى إلى الحكم الذاتي

د. خليل شقاقي

21. أساسيات الأمن القومي: تطبيقات على دولة الإمارات العربية المتحدة

د. ديفيد جارنم

22. سياسات أسواق العمالة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

د. سليمان القدسي

23. الحركات الإسلامية في الدول العربية

خليل علي حيدر

24. النظام العالمي الجديد

ميخائيل جورباتشوف

25. العولمة والأقلمة: اتجاهان جديدان في السياسات العالمية

د. ريتشارد هيجوت

26. أمن دولة الإمارات العربية المتحدة: مقترحات للعقد القادم

د. ديفيد جارنم

27. العالم العربي وبحوث الفضاء: أين نحن منها؟

د. فاروق الباز

28. الأوضاع الاقتصادية والسياسية والأمنية في روسيا الاتحادية

د. فكتور ليبيديف

29. مستقبل مجلس التعاون لدول الخليج العربية

د. ابتسام سهيل الكتبي

د. جمال سند السويدي

اللواء الركن حيي جمعة الهاملي

سعادة السفير خليفة شاهين المرر

د. سعيد حارب المهيري

سعادة سيف بن هاشل المسكري

د. عبدالخالق عبدالله

سعادة عبدالله بشارة

د. فاطمة سعيد الشامسي

د. محمد العسومي

30. الإسلام والديمقراطية الغربية والثورة الصناعية الثالثة: صراع أم التقاء؟

د. علي الأمين المزروعي

31. منظمة التجارة العالمية والاقتصاد الدولي

د. لورنس كلاين

32. التعليم ووسائل الإعلام الحديثة وتأثيرهما في المؤسسات السياسية والدينية

د. ديل إيكلمان

33. خمس حروب في يوغسلافيا السابقة

اللورد ديفيد أوين

34. الإعلام العربي في بريطانيا

د. سعد بن طفلة العجمي

35. الانتخابات الأمريكية لعام 1998

د. بيتر جوبسر

36. قراءة حديثة في تاريخ دولة الإمارات العربية المتحدة

د. محمد مرسي عبدالله

37. أزمة جنوب شرقي آسيا: الأسباب والنتائج

د. ريتشارد روبيسون

38. البيئة الأمنية في آسيا الوسطى

د. فريدريك ستار

39. التنمية الصحية في دولة الإمارات العربية المتحدة من منظور عالمي

د. هانس روسلينج

40. الانعكاسات الاستراتيجية للأسلحة البيولوجية والكيماوية على أمن الخليج العربي

د. كمال علي بيوغلو

41. توقعات أسعار النفط خلال عام 2000 وما بعده ودور منظمة الأوبك

د. إبراهيم عبدالحميد إسماعيل

42. التجربة الأردنية في بناء البنية التحتية المعلوماتية

د. يوسف عبدالله نصير

43. واقع التركيبة السكانية ومستقبلها في دولة الإمارات العربية المتحدة

د. مطر أحمد عبدالله

44. مفهوم الأمن في ظل النظام العالمي الجديد

عدنان أمين شعبان

45. دراسات في النزاعات الدولية وإدارة الأزمة

د. ديفيد جارنم

46. العولمة: مشاهد وتساؤلات

د. نايف علي عبيد

47. الأسرة ومشكلة العنف عند الشباب
(دراسة ميدانية لعينة من الشباب في جامعة الإمارات العربية المتحدة)

د. طلعت إبراهيم لطفي

48. النظام السياسي الإسرائيلي: الجذور والمؤسسات والتوجهات

د. بيتر جوبسر

49. التنشئة الاجتماعية في المجتمع العربي في ظروف اجتماعية متغيرة

د. سهير عبدالعزيز محمد

50. مصادر القانون الدولي: المنظور والتطبيق

د. كريستوف شرور

51. الثوابت والمتغيرات في الصراع العربي ـ الإسرائيلي وشكل الحرب المقبلة

اللواء طلعت أحمد مسلم

52. تطور نظم الاتصال في المجتمعـات المعاصرة

د. راسم محمد الجمال

53. التغيرات الأسرية وانعكاساتها على الشباب الإماراتي: تحليل سوسيولوجي

د. سعد عبدالله الكبيسي

54. واقع القدس ومستقبلها في ظل التطورات الإقليمية والدولية

د. جواد أحمد العناني

55. مشكلات الشباب: الدوافع والمتغيرات

د. محمود صادق سليمان

56. محددات وفرص التكامل الاقتصادي بين دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

د. محمد عبدالرحمن العسومي

57. الرأي العام وأهميته في صنع القرار

د. بسيوني إبراهيم حمادة

58. جذور الانحياز:
دراسة في تأثير الأصولية المسيحية في السياسة الأمريكية تجاه القضية الفلسطينية

د. يوسف الحسن

59. ملامح الاستراتيجية القومية في النهج السياسي
لصاحب السمو الشيخ زايد بن سلطان آل نهيان
رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة

د. أحمد جلال التدمري

60. غسل الأموال: قضية دولية

مايكل ماكدونالد

61. معضلة المياه في الشرق الأوسط

د. غازي إسماعيل ربابعة

62. دولة الإمارات العربية المتحدة: القوى الفاعلة في تكوين الدولة

د. جون ديوك أنتوني

63. السياسة الأمريكية تجاه العراق

د. جريجوري جوز الثالث

64. العلاقات العربية ـ الأمريكية من منظور عربي: الثوابت والمتغيرات

د. رغيد كاظم الصلح

65. الصهيونية العالمية وتأثيرها في علاقة الإسلام بالغرب

د. عبدالوهاب محمد المسيري

66. التوازن الاستراتيجي في الخليج العربي خلال عقد التسعينيات

د. فتحي محمد العفيفي

67. المكون اليهودي في الثقافة المعاصرة

د. سعد عبدالرحمن البازعي

68. مستقبل باكستان بعد أحداث 11 أيلول/ سبتمبر 2001
وحرب الولايات المتحدة الأمريكية في أفغانستان

د. مقصود الحسن نوري

69. الولايات المتحدة الأمريكية وإيران: تحليل العوائق البنيوية للتقارب بينهما

د. روبرت سنايدر

70. السياسة الفرنسية تجاه العالم العربي

شارل سان برو

71. مجتمع دولة الإمارات العربية المتحدة: نظرة مستقبلية

د. جمال سند السويدي

72. الاستخدامات السلمية للطاقة النووية: مساهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

د. محمد البرادعي

73. ملامح الدبلوماسية والسياسة الدفاعية لدولة الإمارات العربية المتحدة

د. وليم رو

74. الإسلام والغرب عقب 11 أيلول/ سبتمبر: حوار أم صراع حضاري؟

د. جون إسبوزيتو

75. إيران والعراق وتركيا: الأثر الاستراتيجي في الخليج العربي

د. أحمد شكارة

76. الإبحار بدون مرساة المحددات الحالية للسياسة الأمريكية في الخليج العربي

د. كلايف جونز

77. التطور التدريجي لمفاوضات البيئة الدولية: من استوكهولم إلى ريودي جانيرو

مارك جيدويت

78. اقتصـادات الخليـج العـربي: التحديات والفرص

د. إبراهيم عويس

79. الإسلام السياسي والتعددية السياسية من منظور إسلامي

د. محمد عمارة

80. إحصاءات الطاقة: المنهجية والنماذج الخاصة بوكالة الطاقة الدولية

جون دينمان و ميكي ريسي و سوبيت كاربوز

81. عمليات قوات الأمم المتحدة لحفظ السلام: تجربة أردنية

السفير عيد كامل الروضان

82. أنماط النظام والتغيرات في العلاقات الدولية: الحروب الكبرى وعواقبها

د. كيتشي فوجيوارا

83. موقف الإسلاميين من المشكلة السكانية وتحديد النسل

خليل علي حيدر

84. الدين والإثنية والتوجهات الأيديولوجية في العراق: من الصراع إلى التكامل

د. فالح عبدالجبار

85. السياسة الأمريكية تجاه الإسلام السياسي

جراهام فولر

86. مكانة الدولة الضعيفة في منطقة غير مستقرة: حالة لبنان

د. وليد مبارك

87. العلاقات التجارية بين مجلس التعاون لدول الخليج العربية والاتحاد الأوربي: التحديات والفرص

د. رودني ويلسون

88. احتمالات النهضة في "الوطن العربي"
بين تقرير التنمية الإنسانية العربية ومشروع الشرق الأوسط الكبير

د. نادر فرجاني

89. تداعيات حربي أفغانستان والعراق على منطقة الخليج العربي

د. أحمد شكارة

90. تشكيل النظام السياسي العراقي: دور دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

جيمس راسل

91. الاستراتيجية اليابانية تجاه الشرق الأوسط
بعد أحداث الحادي عشر من سبتمبر

د. مسعود ضاهر

92. الاستخبارات الأمريكية بعد الحادي عشر من سبتمبر: سد الثغرات

إيلين ليسون

93. الأمم المتحدة والولايات المتحدة والاتحاد الأوربي والعراق:
تحديات متعددة للقانون الدولي

ديفيد م. مالون

94. الحرب الأمريكية على الإرهاب وأثرها على العلاقات الأمريكية – العربية

جيمس نويز

95. القضية الفلسطينية وخطة الانفصال عن غزة:
آفاق التسوية.. انفراج حقيقي أم وهمي؟

د. أحمد الطيبي ومحمد بركة

96. حرب الولايات المتحدة الأمريكية على العراق
وانعكاساتها الاستراتيجية الإقليمية

د. أحمد شكارة

97. سيناريوهات المستقبل المحتملة في العراق

كينيث كاتزمان

98. الأسلحة النووية في جنوب آسيا

كريس سميث

99. العلاقات الروسية مع أوربا والولايات المتحدة الأمريكية
انعكاسات على الأمن العالمي

فيتالي نومكن

100. تقنيات التعليم وتأثيراتها في العملية التعليمية:
دراسة حالة كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية بجامعة الإمارات العربية المتحدة

د. مي الخاجة

101. الخليج العربي واستراتيجية الأمن القومي الأمريكي

لورنس كورب

102. مواجهة التحدي النووي الإيراني

جاري سمور

103. الاقتصاد العراقي: الواقع الحالي وتحديات المستقبل

د. محمد علي زيني

104. مستقبل تمويل الصناعة النفطية العراقية

د. علي حسين

105. المشاركة الاستراتيجية الأسترالية في الشرق الأوسط: وجهة نظر

ديفيد هورنر

106. سوريا ولبنان: أصول العلاقات وآفاقها

حازم صاغية

107. تنفيذ الاتفاقيات الدولية وقواعد القانون الدولي

بين التوجهات الانفرادية والتعددية

د. أحمد شكارة

108. التحديات ذات الجذور التاريخية التي تواجه دولة الإمارات العربية المتحدة

د. فاطمة الصايغ

109. حل النزاعات في عالم ما بعد الحرب الباردة وانعكاساتها على العراق

مايكل روز

110. أستراليا والشرق الأوسط: لماذا أستراليا "مؤيد صلب" لإسرائيل؟

علي القزق

111. العلاقات الأمريكية ـ الإيرانية:

نظرة إلى الوراء... نظرة إلى الأمام

فلينت ليفيريت

112. نزاعات الحدود وحلها في ضوء القانون الدولي: حالة قطر والبحرين

جيوفاني ديستيفانو

113. العراق والإمبراطورية الأمريكية:

هل يستطيع الأمريكيون العرب التأثير في السياسة الأمريكية في الشرق الأوسط؟

د. رشيد الخالدي

114. الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا في الشرق الأوسط وخارجه:

شركاء أم متنافسون؟

تشارلز كوبتشان

115. تعاظم دور حلف الناتو في الشرق الأوسط "الكبير"

فيليب جوردن

116. مكافحة الجرائم المعلوماتية وتطبيقاتها

في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

د. ناصر بن محمد البقمي

117. ما مدى قدرة إيران على تطوير المواد الخاصة بالأسلحة النووية وتقنياتها؟

جـــون لارج

قسيمة اشتراك في سلسلة

«محاضرات الإمارات»

الاســم : ....

المؤسسة : ....

العنوان : ....

ص. ب : .... المدينـــة: ....

الرمز البريدي : ....

الـدولـة : ....

هـاتـف : .... فـاكـس: ....

البريد الإلكتروني : ....

بدء الاشتراك: (من العدد: .... إلى العدد: ....)

رسوم الاشتراك*

للأفراد:	110 دراهم	30 دولاراً أمريكياً
للمؤسسات:	220 درهماً	60 دولاراً أمريكياً

- ☐ للاشتراك من داخل الدولة يقبل الدفع النقدي، والشيكات، والحوالات النقدية.
- ☐ للاشتراك من خارج الدولة تقبل فقط الحوالات المصرفية، مع تحمل المشترك تكاليف التحويل.
- ☐ في حالة الحوالـة المصرفية، يرجى تحويل قيمة الاشتراك إلى حساب مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية رقم 1950050565 ـ بنك أبوظبي الوطني ـ فرع الخالدية، ص. ب: 46175 أبوظبي ـ دولة الإمارات العربية المتحدة.
- ☐ يمكن الاشتراك عبر موقعنا على الإنترنت (www.ecssr.ae) باستعمال بطاقتي الائتمان Visa وMaster Card.

لمزيد من المعلومات حول آلية الاشتراك يرجى الاتصال:

قسم التوزيع والمعارض

ص.ب: 4567 أبوظبي ـ دولة الإمارات العربية المتحدة

هاتف: 4044445 (9712) فاكس: 4044443 (9712)

البريد الإلكتروني: books@ecssr.ae

الموقع على الإنترنت: http://www.ecssr.ae

* تشمل رسوم الاشتراك الرسوم البريدية، وتغطي تكلفة اثني عشر عدداً من تاريخ بدء الاشتراك.



مـركـز الإمـارات لـلـدراسـات والبحـوث الاستـراتيجيـة

ص.ب: 4567 ، أبوظبي ، دولة الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 4044541-9712+ ، فاكس: 4044542-9712+

البريد الإلكتروني: pubdis@ecssr.ae ، الموقع على الإنترنت: www.ecssr.ae

ISSN 1682-122X



ISBN 978-9948-00-962-7
9 789948 009627